

PRACTICA SUPERVISADA



Homologación de postes de hormigón armado de sección doble T



FCEFN

Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales



Alumno: MERLO, Juan Gabriel

Tutor interno: Ing. IRICO, Patricia

Tutor externo: Ing. GATTAVARA, Héctor

*Empresa: Cooperativa de Servicios Públicos y
Sociales de Serrano Limitada*

Fecha: diciembre de 2013



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS	5
CAPÍTULO 1	6
1.1 PLAN DE ACTIVIDADES.....	6
CAPÍTULO 2	8
2.1 RELEVAMIENTO EN FÁBRICA.....	8
2.1.1 Esquema de la fábrica	9
2.1.2 Acopio de materiales	10
2.1.3 Geometría y Armadura.....	10
2.1.4 Dosificación	20
2.1.5 Método constructivo	21
2.2 PLANIFICACIÓN Y PREPARACIÓN.....	22
CAPÍTULO 3	23
3.1 DEFINICIONES.....	23
3.1.1 Carga de Servicio:	23
3.1.2 Carga de Rotura:	24
3.1.3 Carga Nominal de Rotura (R):	24
3.1.4 Carga Teórica de Rotura:	24
3.1.5 Coeficiente Nominal de Seguridad a la rotura	24
3.1.6 Coeficiente de Seguridad a la Rotura:	24
3.1.7 Flecha:	24
3.1.8 Deformación Permanente:	24
3.1.9 Colapso:.....	24
3.1.10 Longitud de empotramiento:	25
3.1.11 Longitud útil:	25
3.1.12 Longitud total (nominal):.....	25
3.1.13 Sección de empotramiento:	25
3.1.14 Clase:	25
3.2 VERIFICACIÓN SECCIONAL DE LA PIEZA.....	25
3.2.1 Flexión Simple en el eje de mayor resistencia y en la sección de empotramiento.....	26
3.2.2 Flexión Simple en el eje de menor resistencia y en la sección de empotramiento.	28
3.3 MODELO TEÓRICO DE DEFORMACIONES.	30
3.3.1 Análisis	31
3.3.2 Resultados	37
CAPÍTULO 4	38
4.1 ENSAYO A FLEXIÓN EN LA DIRECCIÓN DE MAYOR RESISTENCIA.	38

4.1.1 Objetivo:.....	38
4.1.2 Procedimiento:.....	38
4.2 ENSAYO A FLEXIÓN EN LA DIRECCIÓN DE MENOR RESISTENCIA.....	41
4.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DE PROBETAS DE HORMIGÓN ENDURECIDO - IRAM 1546	42
4.4 ENSAYOS DE MODULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN EN PROBETAS DE PASTONES DE PLANTA.....	42
4.5 ENSAYOS DE GRANULOMETRÍAS DENSIDAD Y ABSORCIÓN EN ÁRIDOS Y REALIZACIÓN DE UN PASTÓN DE PRUEBA.	42
4.6 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN PROBETAS DE BARRAS DE ACERO SEGÚN IRAM IAS U 500 102-1/2	43
CAPÍTULO 5.....	44
5.1 ENSAYOS A FLEXIÓN EN POSTES.....	44
5.1.1 Ensayos en la dirección de mayor resistencia	47
5.1.2 Ensayos en la dirección de menor resistencia	54
5.2 ENSAYOS A COMPRESIÓN SIMPLE EN PROBETAS DE HORMIGÓN.	59
5.3 ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	60
5.4 ENSAYOS DE GRANULOMETRÍAS, DENSIDAD Y ABSORCIÓN EN ÁRIDOS PARA LA REALIZACIÓN DE UN PASTÓN DE PRUEBA.	63
5.5 PROPUESTA DE DOSIFICACIÓN CON SUS RESPECTIVOS RESULTADOS DE ENSAYOS SOBRE EL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO.....	65
5.6 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y DOBLADO EN PROBETAS DE BARRAS DE ACERO SEGÚN IRAM IAS U 500 102-1/2	67
CAPÍTULO 6.....	70
6.1 CONCLUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES.....	70
ANEXO	73
NOMENCLATURA:.....	74
TABLA PARA DIMENSIONADO Y VERIFICACIÓN DE SECCIONES DE HORMIGÓN SEGÚN CIRSOC 201.	76
FOTOCOPIA DE LAS PLANILLAS DE LAS DEFLEXIONES EN LA CIMA DE LOS POSTES Y DEMÁS ENSAYO RELAZADOS.	77
BIBLIOGRAFÍA.	78

Introducción

La Cooperativa de Servicios Públicos y Sociales de Serrano Limitada, perteneciente al pueblo de Serrano ubicada en el sur de la provincia de Córdoba, junto a otras cooperativas de comunidades cercanas, son las encargadas de brindar el servicio de electricidad, como así también de agua potable, cloacas, telefonía, internet, etc. en las zonas ya mencionadas.

Para brindar algunos de estos servicios, la cooperativa utiliza postes de sección doble T de hormigón armado vibrado tronco piramidales para:

- Líneas eléctricas de alta, media y baja tensión
- Líneas de telecomunicaciones
- Otros usos: soportes para iluminación, soportes para megafonía, soportes de antenas,...

La cooperativa de serrano ve en estos postes, la ventaja del bajo costo que estos tienen comparados con los postes de hormigón armado de sección circular en los dos siguientes aspectos:

_ Maquinaria: ya que los procesos de fabricación de los postes circulares de hormigón armado se realizan por lo general con el método de centrifugado mientras que estos se hacen colando el hormigón en moldes.

_ Mano de obra:

- Ya que no se necesita que sea tan especializada.
- Menor tiempo de fabricación.
- y por la razón principal, que es la de utilizar el tiempo libre de los operarios que se generan en las diversas tareas de la cooperativa.

Los postes aprobados por el Ente Regulador de Servicios Públicos de Córdoba (ERSeP) para el tendido eléctrico de alta, media y baja tensión son los de hormigón armado de sección circular, por lo que, con el fin de obtener un informe técnico como parte de la documentación necesaria para la homologación de postes de hormigón con sección doble T ante el ERSeP, la Cooperativa de Servicios Públicos y Sociales de Serrano Limitada contacta al Laboratorio de Estructuras perteneciente a la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba para realizar los ensayos especificados por las normas IRAM bajo la supervisión de personal profesional del Laboratorio.

Objetivos

Los objetivos que se desean alcanzar con esta Practica Supervisada son:

- La integración laboral, profesional y técnica con profesionales y empresas dedicadas al desarrollo, proyecto y ejecución de obras civiles.
- Aplicar y profundizar los conceptos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Civil.
- Adquirir conocimientos prácticos y técnicos sobre tecnologías aplicadas a las obras civiles.
- Utilizar el instrumental del laboratorio para la realización de los diferentes ensayos.
- Obtener experiencia práctica complementaria a la formación académica, participando en el apoyo técnico para la homologación del proyecto.
- Tomar contacto con diversas herramientas y aplicarlas en la generación de soluciones técnicas y económicas viables a situaciones particulares.
- Presentar un informe profesional para ser aprobado ante un ente regulador de la provincia, como así también ante profesores de la facultad que evalúan el trabajo

Para este caso se establecerán como tarea principal las condiciones y requerimientos para la realización de ensayos a flexión en postes de hormigón armado de sección doble T, fabricados por la Cooperativa de Servicios Públicos y Sociales de Serrano Limitada y ensayados bajo la supervisión de personal profesional del Laboratorio de Estructuras perteneciente a la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Como tareas secundarias, la realización de ensayos para garantizar la calidad de los materiales utilizados y proponer mejoras en la fabricación de los postes.

La siguiente Practica Supervisada se desarrollará en seis capítulos:

- Capitulo 1: Plan de actividades.
- Capitulo 2: Relevamiento en fábrica.
- Capitulo 3: Definiciones y análisis teórico.
- Capitulo 4: Consideraciones y procedimientos de los Ensayos.
- Capitulo 5: Resultados de los ensayos.
- Capitulo 6: Conclusiones y recomendaciones en base a los resultados.

Capítulo 1

1.1 Plan de Actividades.

A- Relevamiento en Fábrica.

Se procederá a viajar hasta las instalaciones de la fábrica para realizar el relevamiento en cuanto al proceso productivo, materiales utilizados, geometría, técnicas constructivas, dosificación, etc de los postes. Estos datos serán de utilidad para realizar el modelo teórico de rotura como así también para los distintos ensayos. También se llevara a cabo un reconocimiento del sitio donde se realizarán a posteriori los ensayos y se coordinarán las tareas.

B - Ensayo de Probetas de hormigón.

A solicitud del Laboratorio de Estructuras, la CPySS Ltda. moldeará por los menos 6 probetas de hormigón de tres pastones diferentes (2 por pastón) que serán preparados para el llenado de los postes. Las mismas serán enviadas al laboratorio para realizar ensayos de compresión simple y determinar la calidad del hormigón.

C - Ensayo en Probetas de acero.

También aquí, a pedido del Laboratorio de Estructuras, la Cooperativa realizará el muestreo de dos barras de acero utilizado como armadura longitudinal para realizar en el laboratorio ensayos de tracción y doblado. Esto es para obtener un control de calidad sobre los materiales utilizados.

D - Calibración del instrumental.

En el caso de que la Cooperativa provea (para realizar el ensayo) un dinamómetro para medir las cargas aplicadas, se propone realizar una calibración de este instrumental.

E - Dosificación del Hormigón a utilizar.

Se propone que la cooperativa nos provea los datos de la dosificación con que están trabajando y el Laboratorio evalúe realizar mejoras, con la realización de una dosificación teórica con verificación mediante pastón de prueba.

F - Modelo Teórico de Rotura.

De acuerdo a las características geométricas, calidad de materiales y forma de aplicación de cargas, se propone realizar un análisis del mecanismo de rotura y estimar las deformaciones de

acuerdo a un mecanismo elástico. De esta manera recomendar si es necesario modificación en las armaduras o secciones de H^º.

G - Procedimiento de Ensayo.

De acuerdo a la normativa vigente, a las instalaciones existentes y a la experiencia del personal interviniente se realizará un procedimiento de ensayo y se fijarán las pautas y alcances del mismo.

H - Ensayo in situ.

En instalaciones de la Cooperativa se realizará de acuerdo al procedimiento establecido los ensayos respectivos en los postes. La cantidad de ensayos a realizar quedará definida en función a los requerimientos del ERSEP.

I - Informe con resultados y conclusiones.

Se realizará un informe final con resultados de ensayos y conclusiones. El mismo será de utilidad para la Cooperativa para solicitar la Homologación ante el ERSEP de los postes doble T.

Capítulo 2

2.1 Relevamiento en Fábrica.

Con el fin de hacer un relevamiento en cuanto al proceso productivo, materiales utilizados, geometría, técnicas constructivas, dosificación, etc. de los postes de sección doble T, se visitó las instalaciones de la fábrica que está ubicada en Serrano, que es una localidad y comuna de la región central de Argentina, situada en el extremo noroeste del departamento Roque Sáenz Peña, al sur de la provincia de Córdoba, en la encrucijada que forman la ruta nacional 7 y la Ruta Provincial RP 10. Pedanía La Amarga. La primera de ambas rutas la comunica con las ciudades vecinas de Laboulaye y Vicuña Mackenna, quienes también utilizan estos tipos de postes. Serrano está a 380 km al sur de la ciudad de Córdoba.

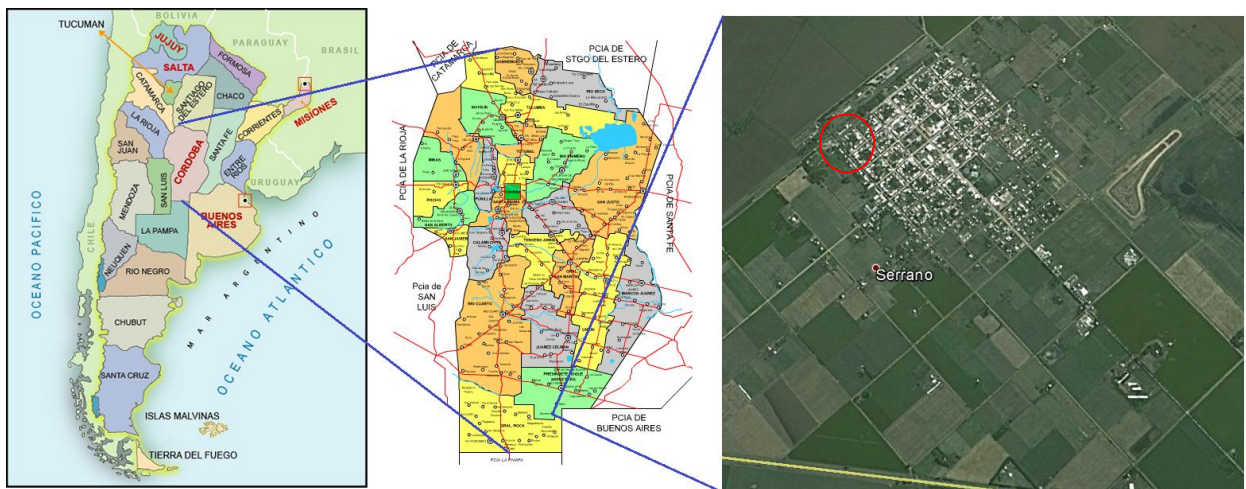


Figura 2.1 Ubicación de la planta de fabricación.

En lo siguiente se detallarán los puntos relevados en fábrica:

2.1.1 Esquema de la fábrica

La cooperativa cuenta con un terreno de aproximadamente 1 hectárea de superficie para las distintas tareas y servicios que brindan. En cuanto a lo referido a la fabricación de los postes el relevamiento de las instalaciones es como se detalla en el siguiente croquis:

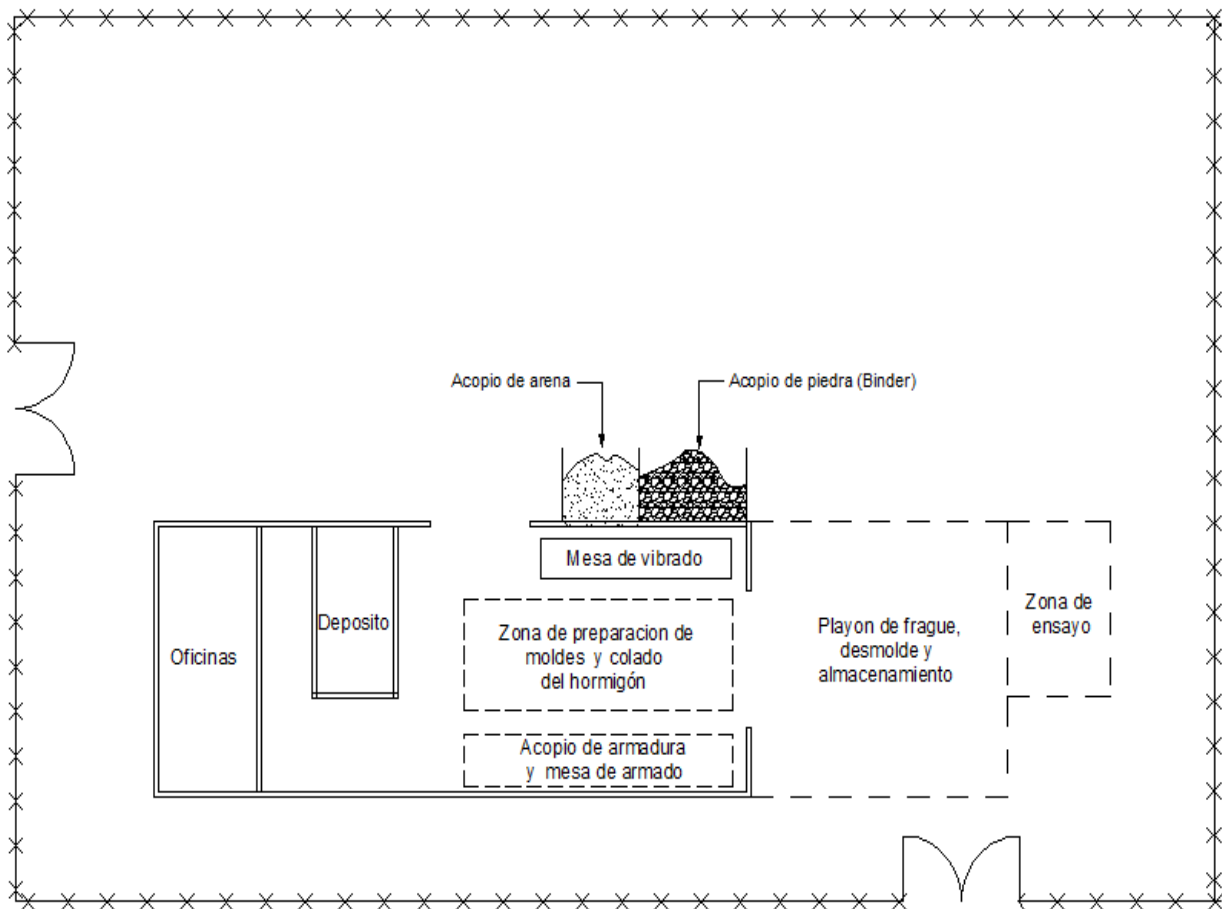


Figura 2.2 Croquis de la planta de fabricación.

2.1.2 Acopio de materiales

Tanto la piedra (binder) como la arena, son acopiadas en el exterior del tinglado quedando expuesto a las condiciones climáticas.

Las lluvias, vientos, calor, frío etc. modifican la humedad que contienen los áridos a la hora de la utilización, lo cual si no se tiene un control sobre este punto, puede alterar la relación agua cemento de la mezcla provocando una variación entre las diferentes partidas de los postes.

Las barras de acero que serán utilizadas como armadura de los postes como así también el alambre de atar, están acopiados bajo techo lo cual reduce en gran manera que se produzca un herrumbre en las barras.

En cuanto al cemento portland (Loma Negra CPN 40), este, está acopiado en el depósito protegiéndolo para su correcto uso. Este acopio es en bolsas de 50 kg como se conoce comúnmente y no a granel.

2.1.3 Geometría y Armadura

Los postes de hormigón armado; sobre los cuales la cooperativa desea realizar el análisis para ser utilizados en tendidos eléctricos de media tensión, son de sección tronco piramidal, rectangular en los extremos y doble T en el centro, con nervios de refuerzo en el alma separados cada un metro de longitud. Esta longitud es de 9 metros de largo.

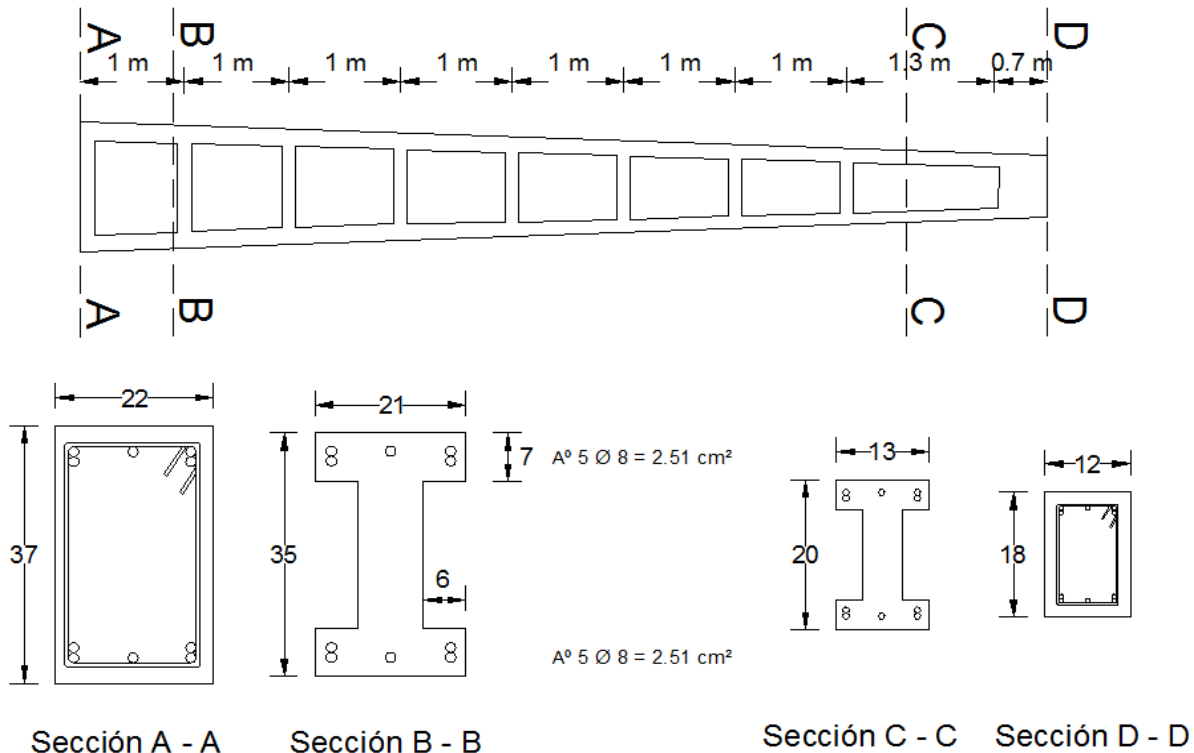


Figura 2.3 Geometría y armaduras del poste.

- Armadura longitudinal: Como armadura longitudinales se utilizan 5 barras superiores y 5 inferiores de acero nerburado de diámetro 8 milímetros ADN 420 como se muestra en el esquema las cuales son provistas por la fabrica AcerBrag.
- Armadura transversal: Como armadura de estribos se usan barras de acero nerburado de diámetro 4.2 mm. Estos estribos estaban separados cada 50 centímetros, los cuales son de forma rectangular en las secciones que coincidían en su ubicación con el nervio que tiene el poste en el alma por cada metro de largo y de sección doble T entre dichos nervios.

Como primera medida se le recomendó que en los primeros 2 metros a partir de la zona libre de empotramiento, se hiciera una densificación de estribos cada 20 cm. Esta recomendación se dio debido a las 2 primeras de las 3 funciones que cumplen los estribos enumerados a continuación:

- A. Confinar el hormigón.
- B. Evitar el pandeo de las barras longitudinales.
- C. Resistir las acciones de corte.

También se recomendó cambiar la forma de estos estribos lo cual se explicara en el inciso B

A. Confinar el hormigón

Comportamiento mecánico del hormigón armado – Ductilidad local.

Para explicar la importancia del confinamiento se extrae un fragmento del Apunte de cátedra del curso de Diseño de Hormigón Armado y Pretensado de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

“En primera instancia se analiza el comportamiento entre el hormigón simple y el hormigón con estribos sometidas a compresión simple.

Para bajos rangos de compresión se puede observar un comportamiento elástico del hormigón simple. Al aumentar el valor de la carga, se produce la rotura del mismo con valores muy pequeños de deformación plástica (comportamiento frágil).

Si en cambio al hormigón se lo arma con estribos, mejora el comportamiento; la resistencia a compresión aumenta muy poco pero se evita la rotura frágil, puesto que los estribos impiden la tracción diametral. Por lo tanto, para que se produzca la rotura se tendrá que vencer la resistencia a tracción del acero aumentando de esta forma la capacidad de deformación plástica como se ve en la figura 2.4. Recordar que el acero tiene una apreciable ductilidad (deformación de fluencia $\epsilon_s = 0,2\%$ y deformación de rotura $\epsilon_r = 12\%$).

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el recubrimiento de una pieza de hormigón armado, puesto que el hormigón, al alcanzarse una deformación $\epsilon = 0,3\%$, el recubrimiento se perderá pero el hormigón en el interior del zuncho no lo hará por el confinamiento que el zuncho le está otorgando.

Concluimos que para darle al hormigón capacidad de deformación plástica hay que confinarlo.”

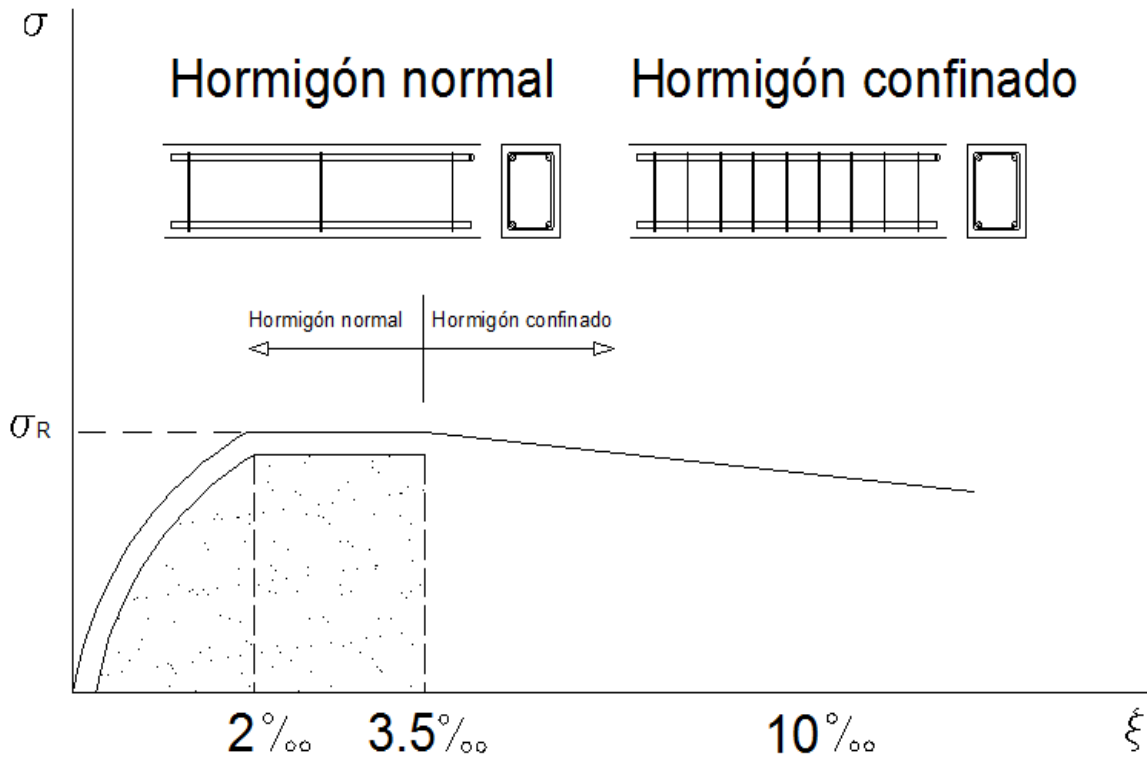


Figura 2.4 Comportamiento del hormigón confinado.

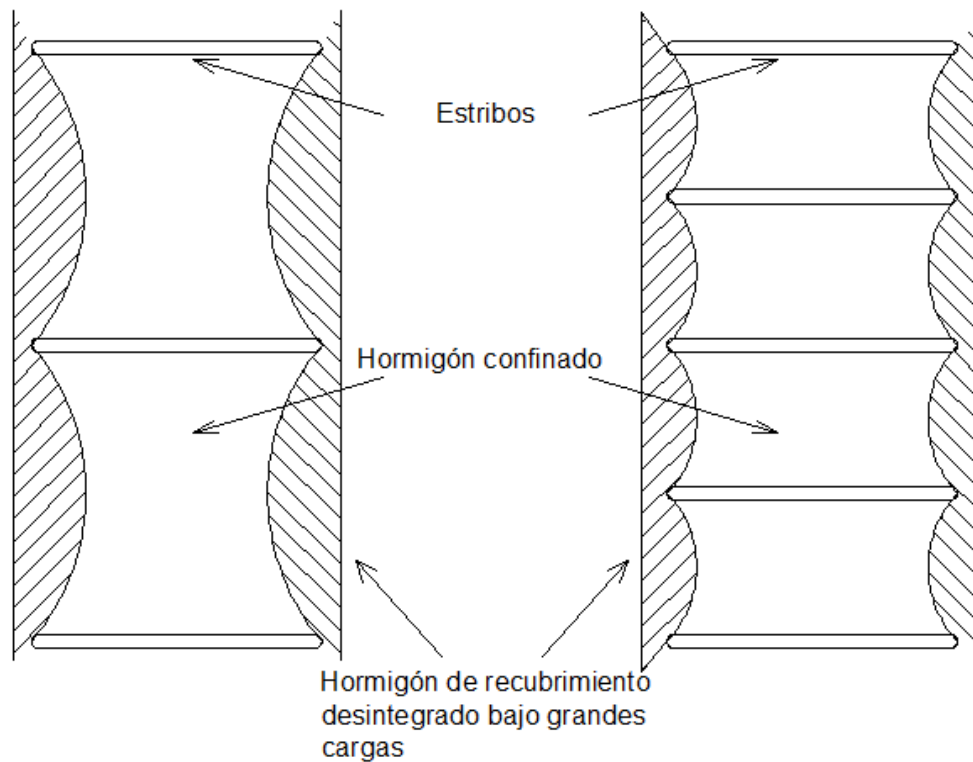


Figura 2.5 Separación de estribos.

El área de hormigón que se pierde es mayor cuanto más grande sea la separación entre estribos como se ve en la figura 2.5, haciendo que se reduzca la sección de la pieza lo cual trae la disminución de la capacidad para resistir la sollicitación.

B. Evitar el pandeo de las barras longitudinales

En cuanto a evitar el pandeo de las barras longitudinales a medida que reducimos la separación de los estribos acortamos la longitud de pandeo cuando estas se encuentran sometidas a compresión

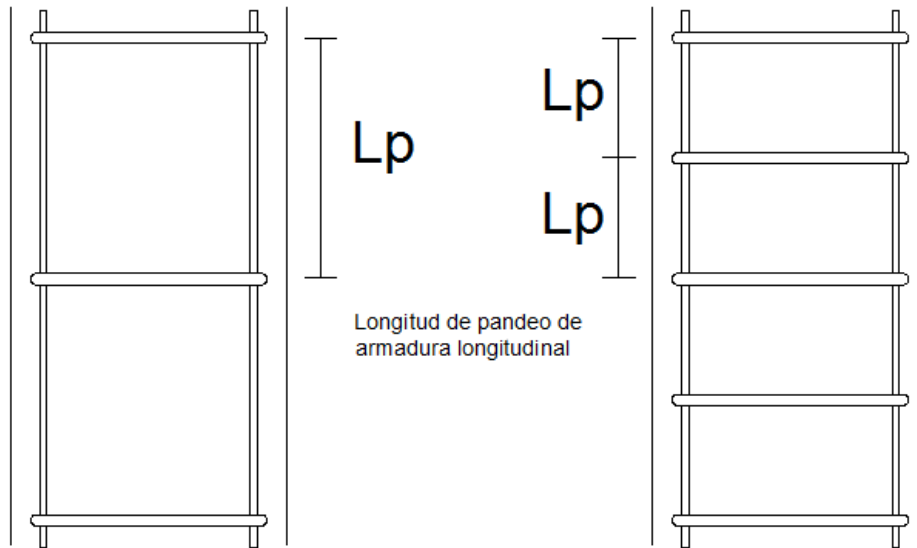


Figura 2.6 Longitud de pandeo de las barras longitudinales.

En cuanto a la forma de los estribos, los que se encuentran entre los nervios tienen la forma de la figura 2.7 A, los cuales no son recomendados ya que para que los estribos trabajen, cuando las barras longitudinales tienden a pandearse por la compresión, estos deben entrar en fluencia ante la tracción. Para el caso A tiende deformarse acomodándose sin entrar en fluencia mientras que el caso B cumple con los requisitos.

Se debe evitar que el espesor del recubrimiento no supere los 2 cm para tener la menor pérdida posible de hormigón cuando el poste se encuentre ante grandes cargas de servicio.

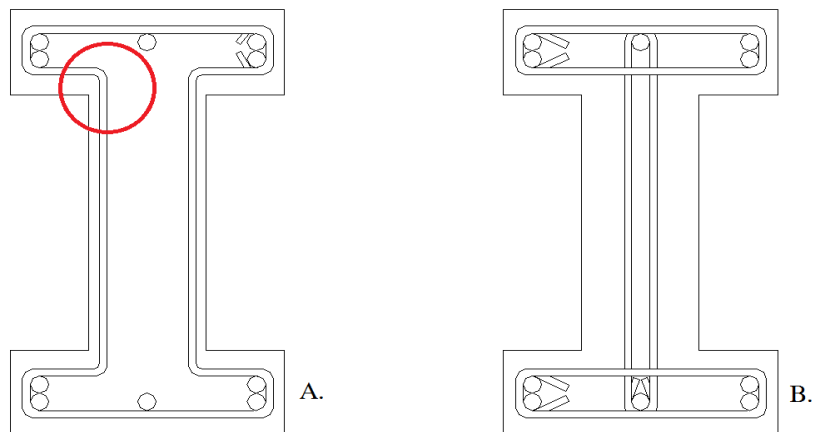


Figura 2.7 Forma de los estribos en la sección doble T.

C. Resistir las acciones de corte

Dado que el poste está empotrado en la base y la carga es puntual en la cima, este está trabajando en voladizo por lo que el efecto de corte es constante en toda su longitud, y por ser de sección tronco piramidal, a medida que nos acercamos a la cima y la sección de la pieza se va reduciendo, es cuanto mayor influencia tiene este efecto sobre el poste.

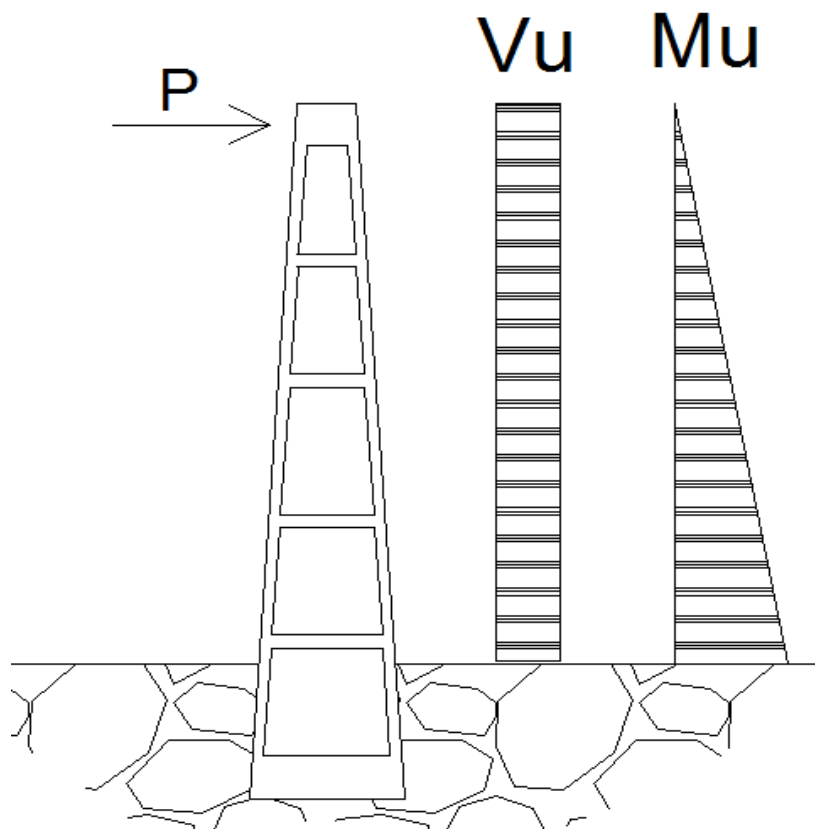


Figura 2.8 Diagrama de corte y momento en el poste.

Para el cálculo de la armadura de corte se procederá con la metodología extraída del apunte del curso de Hormigón Armado y Pretensado bajo el título Corte en vigas de hormigón armado de altura variable.

Como solicitación tomaremos la máxima carga que se requiere que el poste resista la cual es de 400 daN (aproximadamente 407 kg) aplicada a 20 centímetros de la cima. La longitud de

empotramiento es el 10% de la longitud total del poste (90cm). Esto nos da un brazo de palanca de 7.90 centímetros.

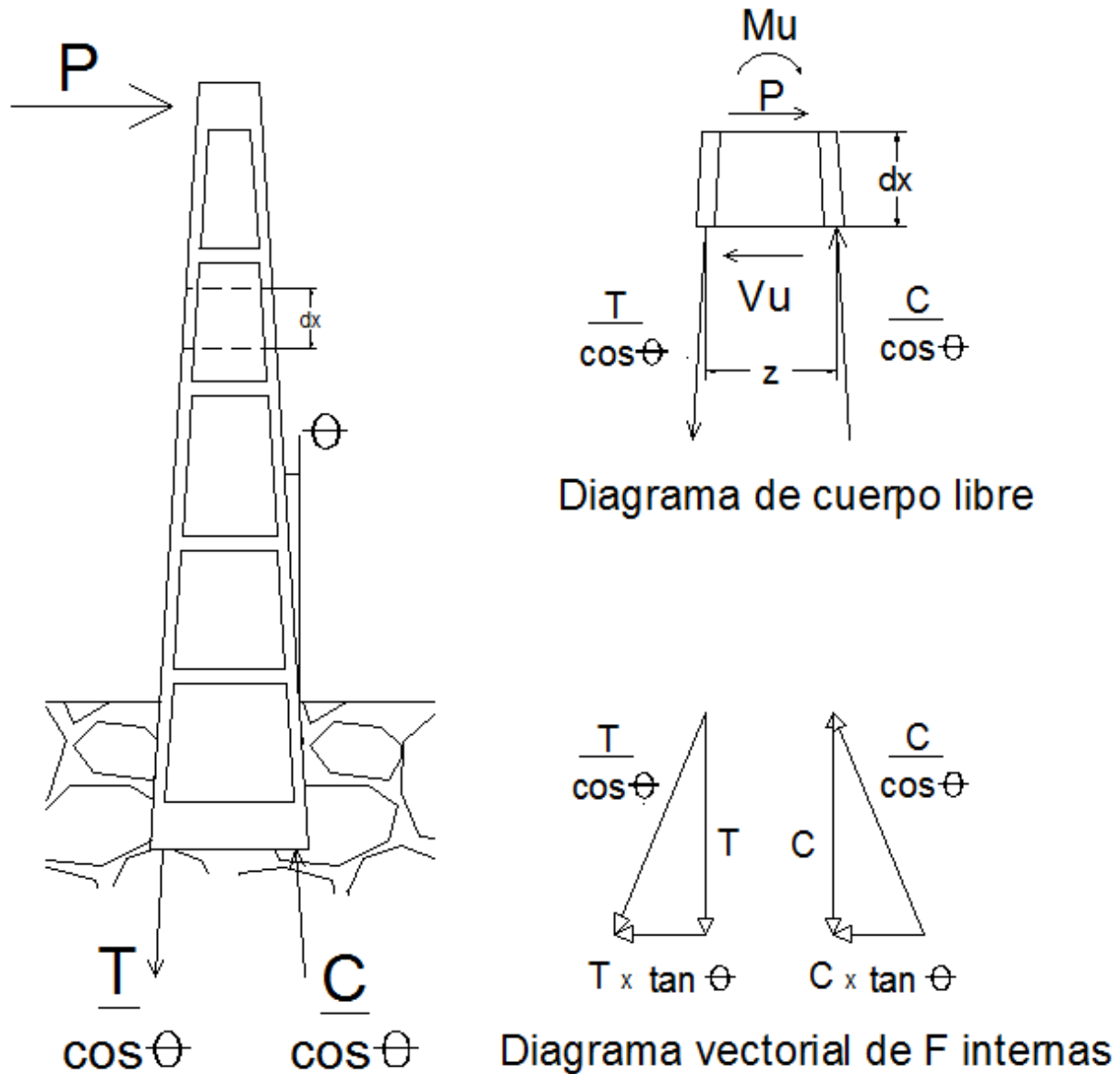


Figura 2.9 Descomposición de esfuerzo interno.

En cuanto a la descripción de la Nomenclatura, que se mencionara de aquí en adelante, referirse al anexo.

El momento solicitante mayorado (M_u) es contrarrestado por la cupla interna producida entre la tracción (T) en la armadura y la compresión en el hormigón (C).

Como la sección es tronco piramidal, la superficie del poste tiene una inclinación con respecto a su eje longitudinal. Al ser las barras longitudinales paralelas a la superficie estas aportan una contribución para resistir la sollicitación de corte dada por la siguiente expresión:

$$\Delta V_u = T \times \tan \theta + C \times \tan \theta$$

$$T = C = \frac{M_u}{z}$$

Como $C = T$ nos queda:

$$\Delta V_u = \frac{2M_u}{z} \tan \theta$$

$$V_u = P - \Delta V_u$$

$$M_u = P \times L$$

Para la sección de empotramiento tenemos:

$$M_u = 407 \text{ Kg} \times 7.9 \text{ m} = 3215.3 \text{ Kg m}$$

$$\Delta V_u = \frac{2 \times 3215.3 \text{ Kg m}}{0.28 \text{ m}} \tan 0.6 = 240.5 \text{ Kg}$$

$$V_u = 407 \text{ Kg} - 240.5 \text{ Kg} = 166.5 \text{ Kg}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} A$$

$$V_c = 0.166 \sqrt{21 \text{ MPa}} 78000 \text{ mm}^2$$

$$V_c = 59549.7 \text{ N} = 6070.3 \text{ Kg}$$

Si $V_u > \phi V_c$ se necesita armadura de corte

$$\phi = 0.75$$

$$\phi V_c = 4552.5$$

como $V_u < \phi V_c$ no se necesita armadura de corte

Para la sección donde esta aplicada la carga tenemos:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b x d$$

$$V_c = 0.166 \sqrt{21 \text{ MPa}} 120 \text{ mm} x 145 \text{ mm}$$

$$V_c = 13289 \text{ N} = 1356 \text{ Kg}$$

$$V_u = P$$

$$\phi V_c = 1017 \text{ Kg}$$

como $V_u < \phi V_c$ no se necesita armadura de corte

Para la aplicación de la carga en el sentido de menor resistencia tendremos:

Para la sección de empotramiento tenemos:

$$M_u = 146 \text{ Kg} x 7.9 \text{ m} = 1153.5 \text{ Kg m}$$

$$\Delta V_u = \frac{2 x 1153.5 \text{ Kg m}}{0.18 \text{ m}} \tan 0.6 = 134 \text{ Kg}$$

$$V_u = 146 \text{ Kg} - 134 \text{ Kg} = 12 \text{ Kg}$$

$$V_c = 2 x \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b x d$$

$$V_c = 2 x 0.166 \sqrt{21 \text{ MPa}} 70 \text{ mm} x 180 \text{ mm}$$

$$V_c = 19240 \text{ N} = 1963 \text{ Kg}$$

Si $V_u > \phi V_c$ se necesita armadura de corte

$$\phi = 0.75$$

$$\phi V_c = 1472.4 \text{ Kg}$$

como $V_u < \phi V_c$ no se necesita armadura de corte

Para la sección donde esta aplicada la carga tenemos:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b x d$$

$$V_c = 0.166 \sqrt{21 \text{ MPa}} 120 \text{ mm} x 145 \text{ mm}$$

$$V_c = 13289 \text{ N} = 1356 \text{ Kg}$$

$$V_u = P$$

$$\phi V_c = 1017 \text{ Kg}$$

como $V_u < \phi V_c$ no se necesita armadura de corte

2.1.4 Dosificación

En cuanto a la dosificación del hormigón de los postes que utiliza la Cooperativa de Servicios Públicos y Sociales de Serrano Limitada la relación de la arena, piedra, cemento y agua en volumen, es la siguiente:

- Arena 9 baldes (baldes de albañil)
- Piedra 12 baldes (baldes de albañil)
- Cemento 1 bolsa (50 kg)
- Agua 24 lts.

Si a estos valores los llevamos a un porcentaje aproximado de cada uno de estos elementos utilizados tendríamos:

- Arena 33.1 %
- Piedra 44.2 %
- Cemento 9.3 %
- Agua 13.4 %

Esto trae como consecuencia una variación en los diferentes pastones que se realizan debido a la forma de medir los materiales intervinientes causado por los siguientes factores:

- El operario carga el balde aproximadamente al ras. En mayor o menor medida.
- La manipulación de distintos operarios alteran las proporciones.
- El esponjamiento al colocar tanto la arena como la piedra en el balde varía con cada llenado como así también con el porcentaje de humedad que estos tengan. Debe recordarse que estos materiales se encuentran totalmente expuestos al aire libre siendo muy susceptibles a las condiciones climáticas.
- Etc.

2.1.5 Método constructivo

Primeramente se coloca en un banco de armado las barras longitudinales, 5 barras superiores y 5 inferiores como ya se especificó (colocándose 2 en los extremos en yuxtaposición y una en el centro), las cuales son vinculadas entre sí por medio de los estribos (estos son atados con alambre siguiendo el procedimiento convencional).

El empalme de barra se realiza aproximadamente a la mitad del poste también en yuxtaposición con una longitud de 0.5m.

Luego se coloca el conjunto de armadura en el molde el cual se encuentra lubricado para facilitar y producir un buen desencofrado.

De ahí se coloca en la mesa de vibrado para producir una buena distribución y evitar oquedades en la sección. Se observó que el vibrado no produjera segregación del agregado grueso.

Luego de esto se deja un día bajo techo y luego se lo lleva al playón de secado y almacenamiento.

Por último se desencofra a los 7 días.

2.2 Planificación y preparación.

Una vez hecho el relevamiento, se solicitó a la Cooperativa de Servicios Públicos y Sociales de Serrano Limitada que se preparen 6 postes, con las nuevas indicaciones sobre la densificación de estribos en la base, para la realización de:

- Ensayo a flexión en la dirección de mayor resistencia, para verificar la carga nominal de rotura (la cantidad de 3 postes).
- Ensayo a flexión en la dirección de menor resistencia, para establecer la clase de poste (la cantidad de 3 postes).

Además se pidió a la cooperativa que proveyeran al laboratorio 9 probetas con el hormigón que serían utilizados para realizar los postes de hormigón a ensayar.

A estas probetas se les realizaron los siguientes ensayos:

- Ensayo de resistencia a compresión simple de probetas de hormigón endurecido según IRAM 1546.
- Ensayo para la determinación del módulo de elasticidad en hormigón según ASTM C 469

Con esto se obtendrá la resistencia del material utilizado como así también el módulo de elasticidad para realizar el modelo teórico de deformación.

Sumado a esto, se pidió que enviaran al laboratorio las cantidades de : 100 Kg de áridos, 2 bolsas de cemento portland y 2 metros de barras de acero para realizar:

- Granulometrías, densidad y absorción de áridos.
- Proyecto de dosificación con pastón de prueba y moldeo de probetas para evaluar las resistencias.
- Ensayo de resistencia a la tracción en probetas de barras de acero según IRAM IAS U 500 102-1/2

Por último, se dieron las indicaciones y sugerencias tanto para la realización de la base para la sujeción de los postes durante el ensayo, del lugar adecuado para realizar el mismo como así también del punto de apoyo para la colocación del malacate con el cual se aplicaría la carga.

Capítulo 3

En este capítulo se desarrollan los siguientes temas:

- Definiciones, las cuales serán extraídas de las normativas vigentes para postes de sección doble T de hormigón armado vibrado tronco piramidales.
- Verificación seccional de la pieza para conocer la sollicitación de tracción del acero y la compresión del hormigón.
- Modelo teórico para estimar las deformaciones en estado fisurado y no fisurado.
- Protocolo de ensayo a flexión en los postes de acuerdo a lo establecido en las Normas y considerando la infraestructura disponible de la Cooperativa. Ensayos de calidad de materiales realizados.

Alcance: Este informe técnico hace solamente referencia a un único tipo de poste de sección doble T, de 9,00 m de longitud total y con una carga nominal de rotura de 400 DaN (aproximadamente 407 kg) en la dirección de mayor resistencia. Las normas que se tomaron como referencia son las siguientes:

- NORMA IRAM1603 / 1981 – Elementos Estructurales de Hormigón. Postes de hormigón armado para soporte de instalaciones aéreas.
- NORMA IRAM 1722 / 1986 – Postes de Hormigón armado y pretensado de sección rectangular o doble T y forma tronco piramidal para líneas de media tensión.
- CIRSOC 201 Proyecto, Cálculo y Ejecución de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado

3.1 Definiciones.

De las normas de referencia extraemos las siguientes definiciones:

3.1.1 Carga de Servicio: Carga máxima para la cual ha sido proyectado el poste, aplicada a 20 cm. de la cima y en una dirección especificada.

3.1.2 Carga de Rotura: Carga que, determinada experimentalmente de acuerdo a la Norma y aplicada 20 cm por debajo de la cima, en una dirección especificada produce el colapso estructural del poste.

3.1.3 Carga Nominal de Rotura (R): Carga de rotura indicada por el fabricante.

3.1.4 Carga Teórica de Rotura: Carga de rotura determinada por el cálculo.

3.1.5 Coeficiente Nominal de Seguridad a la rotura: Relación entre la carga de nominal de rotura y la carga de servicio.

3.1.6 Coeficiente de Seguridad a la Rotura: Relación entre la carga de rotura y la carga de servicio.

3.1.7 Flecha: Desplazamiento que experimenta la cima por acción de la carga, medido perpendicularmente al eje del poste en su posición inicial.

3.1.8 Deformación Permanente: Flecha remanente, registrada después que ha cesado de actuar una carga determinada sobre el poste.

3.1.9 Colapso: Condición que presenta cuando un poste, sometido al ensayo respectivo, experimenta, bajo la acción de la carga aplicada, una deformación permanente en las barras de armadura, acompañada de agrietamientos y desprendimientos del hormigón en la zona comprimida. Esta condición queda determinada cuando se acusa visiblemente un aumento desproporcionado de la deformación, sin incrementar notablemente la carga actuante.

3.1.10 Longitud de empotramiento: Distancia entre la sección de empotramiento y el extremo inferior del poste.

3.1.11 Longitud útil: Distancia entre la cima y la sección de empotramiento del poste.

3.1.12 Longitud total (nominal): Distancia del extremo de la base al extremo superior (cima del poste)

3.1.13 Sección de empotramiento: Sección del poste donde se produce el máximo momento flector, cuando aquel se encuentra colocado en las condiciones de trabajo.

3.1.14 Clase: Según el valor de la carga de rotura nominal actuando en la dirección del eje de menor resistencia, se distinguirán dos clases de postes

Clase A: Cuando la carga de rotura en la dirección del eje de menor resistencia, sea igual o mayor que el 40% de la carga de rotura nominal.

Clase B: Cuando la carga de rotura en la dirección del eje de menor resistencia, sea igual o mayor que el 60% de la carga de rotura nominal.

3.2 Verificación seccional de la pieza.

Se realiza la verificación teórica de la rotura a flexión de la pieza en la sección de empotramiento y para las dos direcciones de carga.

Suponemos un empotramiento perfecto del 10% de la longitud total del poste y una carga de rotura en la sección más fuerte de 400 DaN y en la sección débil de 160 DaN. La carga esta aplicada aproximadamente 20 cm por debajo de la cima del poste.

En cuanto a la descripción de la Nomenclatura, que se mencionara de aquí en adelante, referirse al anexo.

3.2.1 Flexión Simple en el eje de mayor resistencia y en la sección de empotramiento.

$$\text{Brazo de Palanca} = L_{\text{total}} - L_{\text{empotramiento}} - L_{\text{aplicación de carga}}$$

$$\text{Brazo de Palanca} = 9,00\text{m} - 0,90\text{m} - 0,20\text{ m} = 7,90\text{ m}$$

$$M_u = P \times L$$

$$M_u = 0.407\text{ tn} \times 7.9\text{ m}$$

$$M_u = 3.2\text{ tn m}$$

“Si la profundidad calculada hasta el eje neutro es menor o igual al espesor h_f del ala, la viga puede analizarse como si fuera una viga rectangular de ancho igual a b , el ancho efectivo del ala, ya que la altura del bloque equivalente de esfuerzo está contenida en el ala.”

Para analizar el poste de esta forma se debe cumplir que:

$$X \leq h_f$$

$$h_f = 0.07\text{m}$$

$\beta_r = 1750\text{ Tn/m}^2$ para hormigón calidad H-21

$$K_r = \frac{M_u}{b \times d^2 \beta_r}$$

$$K_r = \frac{3.2\text{ tn m}}{0.23\text{m} \times 0.32^2\text{m}^2 \times 1750\text{ Tn /m}^2}$$

$$K_r = 0.075$$

De tabla $K_c = 0,18$, entonces la distancia del eje neutro a la fibra superior es de:

$$X = h \times Kc$$

$$X = 0.32 \text{ m} \times 0.18$$

$$X = 0.06 \text{ m}$$

0,06 m < 0,07m (espesor del ala)

Entonces por ubicarse el eje neutro dentro del ala, se realiza el procedimiento como viga rectangular

H° _

$$M_{\text{crit}} > Mu$$

$$M_{\text{crit}} = Kr_{\text{crit}} \times b \times d^2 \beta_r$$

$$M_{\text{crit}} = 0.338 \times 0.23\text{m} \times 0.32^2\text{m}^2 \times 1750 \text{ Tn} / \text{m}^2$$

$$M_{\text{crit}} = 13.9 \text{ Tn m}$$

13,9 Tn m > 3,12 Tn m. Verifica la compresión del H°

Con el Kr = 0,075 de tabla se obtiene Kz = 0,94

$$\sigma'_{\text{bu}} = \delta \times \beta_r$$

$$\sigma'_{\text{bu}} = 0.8 \times 1750 \text{ Tn m}$$

$$\sigma'_{\text{bu}} = 1400 \text{ Tn m}$$

Debo iterar

$$Kr' = \frac{Mu}{b \times d^2 \times \sigma'_{\text{bu}}}$$

$$Kr' = \frac{3.2 \text{ tn m}}{0.23\text{m} \times 0.32^2\text{m}^2 \times 1400 \text{ Tn} / \text{m}^2}$$

$$Kr = 0.097$$

Con Kr' = 0,097; ingreso a tabla Kz = 0,93

A° _

$$A_{nec} = \frac{Mu_{crit}}{Kz \times d \times fs}$$

$$A_{nec} = \frac{3.2 \text{ tn m}}{0.93 \times 0.32 \text{ m} \times 42000 \text{ Tn /m}^2}$$

$$A_{nec} = 2.50 \text{ cm}^2$$

La armadura colocada en los postes por el fabricante (2.51 cm^2) coincide con la armadura necesaria siempre y cuando no tengamos en cuenta el factor de reducción de resistencia que exige el reglamento CIRSOC 201. Al considerarlo tenemos:

$$A_{nec} = \frac{Mu_{crit}}{\theta \times Kz \times d \times fs}$$

$$A_{nec} = \frac{3.2 \text{ tn m}}{0.812 \times 0.93 \times 0.32 \text{ m} \times 42000 \text{ Tn /m}^2}$$

$$A_{nec} = 3.15 \text{ cm}^2$$

Que es mayor a la armadura colocada por el fabricante (2.51 cm^2) siendo la diferencia en 0.64 cm^2 lo que representaría:

$$\phi = \frac{A \times 4}{\pi}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{0.64 \text{ cm}^2 \times 4}{3.1416}}$$

$$\phi = 0.8 \text{ cm}$$

Por lo que se debería agregar una barra más de diámetro 8 mm

3.2.2 Flexión Simple en el eje de menor resistencia y en la sección de empotramiento.

Se realiza la verificación de la sección despreciando la colaboración del alma de la sección doble T. El análisis se realizar considerando las alas como dos vigas rectangulares independientes.

En cuanto al brazo de palanca se considera el mismo que se utilizó en el análisis de flexión simple en el eje de mayor resistencia

$$M_u = P \times L$$

$$M_u = 0.16 \text{ tn} \times 7.9 \text{ m}$$

$$M_u = 1.26 \text{ tn m}$$

H° _

$$M_{\text{crit}} > M_u$$

$$M_{\text{crit}} = K_{r_{\text{crit}}} \times b \times d^2 \beta_r$$

$$M_{\text{crit}} = 2 \times 0.338 \times 0.07 \text{ m} \times 0.20^2 \text{ m}^2 \times 1750 \text{ Tn /m}^2$$

$$M_{\text{crit}} = 3.31 \text{ Tn m}$$

3,31 tnm > 1,26 tnm Verifica la compresión del H°

$$K_r = \frac{M_u}{b \times d^2 \beta_r}$$

$$K_r = \frac{1.26 \text{ tn m}}{2 \times 0.07 \text{ m} \times 0.20^2 \text{ m}^2 \times 1750 \text{ Tn /m}^2}$$

$$K_r = 0.13$$

Con el $K_r = 0,13$ de tabla se obtiene $K_z = 0,91$

$$A_{\text{nec}} = \frac{M_{\text{crit}}}{\theta \times K_z \times d \times f_s}$$

$$A_{\text{nec}} = \frac{1.26 \text{ tn m}}{0.812 \times 0.91 \times 0.20 \text{ m} \times 42000 \text{ Tn /m}^2}$$

$$A_{\text{nec}} = 2.00 \text{ cm}^2$$

La armadura colocada en los postes por el fabricante (2.01 cm^2 considerando las 2 barras de 8 mm por cada ala) coincide con la armadura necesaria que exige el reglamento CIRSOC 201.

3.3 Modelo teórico de deformaciones.

Para conocer el comportamiento aproximado debido a las solicitaciones, se realizó un análisis teórico de la deformación del poste de sección doble T para diferentes estados de cargas según lo especificados por la norma IRAM 1722/1986. Se consideró como longitud de empotramiento 0,90 m (L/10) y se aplicó la carga a 0,20 m de la cima.

Los datos geométricos utilizados fueron los siguientes:

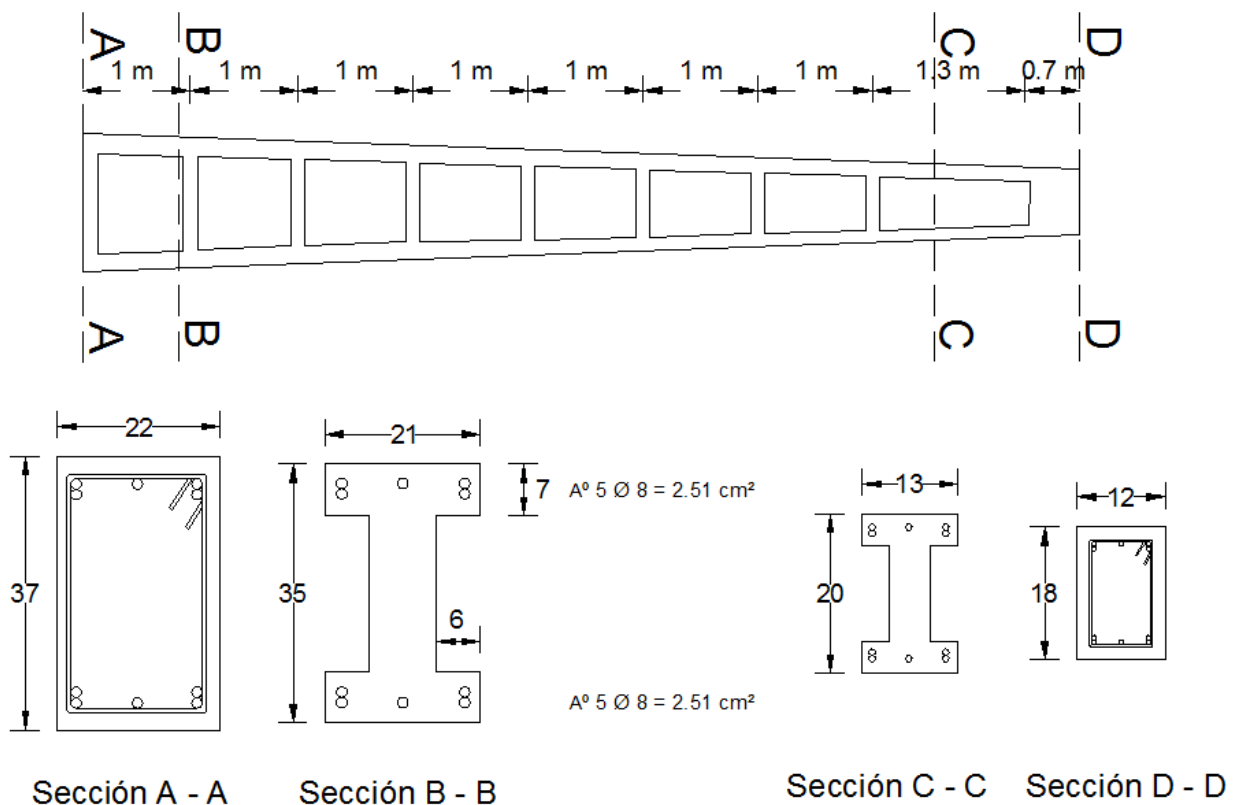


Figura 3.1 Secciones: en la base (A – A), en el empotramiento (B – B) donde se produce el máximo momento flector, y en la cima (C – C), (D – D).

La determinación de los desplazamientos está expresada en función de la inercia de la sección, la cual dependerá si la misma se encuentre en estado NO FISURADO o FISURADO, según la carga solicitante.

Se supuso las siguientes características de los materiales:

Hormigón:

- H – 21 , $\sigma'_{bk}=210$ MPa
- E =21.538 MPa

Acero: ADN 420

3.3.1 Análisis

Para determinar los valores de los desplazamientos producidos en la cima de los postes se realizó una tabla en el programa Microsoft Excel el cual devuelve los valores para las distintas cargas y para los distintas direcciones analizadas siguiendo los pasos y ecuaciones que se desarrollaran a continuación según el reglamento CIRSOC 201 y el apunte del curso de Hormigón Armado y Pretensado

Tomaremos las siguientes nomenclaturas:

P = Carga.

L= longitud desde empotramiento hasta la carga. Aproximadamente igual a 7.9 m.

E = Módulo de elasticidad obtenido en ensayo de probetas.

I_{ut} = Inercia de la sección transformada. (Se usará cuando la sección se encuentra en estado NO FISURADO).

Para establecer si la sección se encuentra en estado fisurado o no se utilizó la siguiente condición:

- Área de la sección transformada (respecto a la fibra inferior)

$$A_{ut} = A_c + n A_s = A_g + (n - 1) \sum A_s$$

- Momento estático sección transformada (respecto a la fibra inferior)

$$S_{ut} = S_g + (n - 1) \sum A_s ds$$

- Cálculo del baricentro de la sección transformada

$$y_g = y_t = \frac{S_{ut}}{A_{ut}}$$

$$y_c = h - y_g$$

- Momento de inercia de la sección transformada

$$I_{ut} = I_g + (n - 1) \sum A_s x d_{sg}^2$$

$$d_{sg}^2 = ds - y_g$$

- Tensiones en las zonas comprimida y traccionada

$$f_c = - \frac{M_u}{I_{ut}} y_c$$

$$f_{ct} = \frac{M_u}{I_{ut}} y_t$$

$$f_r = 0.7 \times \sqrt{f_c'}$$

Con estas últimas dos expresiones donde f_{ct} es la tensión de tracción del hormigón debida a la carga solicitante y f_r es el módulo de rotura del hormigón conoceremos si la sección analizada se encuentra fisurada o no bajo la siguiente condición:

Si $f_{ct} > f_r$ la sección se encuentra fisurada

Si la sección se encuentra FISURADA se reduce la sección solicitada a compresión por lo que disminuye la inercia de la sección. Esta inercia, llamada inercia efectiva I_e , estará dada por la siguiente expresión:

$$I_e = \left(\frac{M_{u_{crit}}}{M_a} \right)^3 \times I_{ut} + \left[1 - \left(\frac{M_{u_{crit}}}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{crit}$$

Con la condición de que:

$$I_e \leq I_{ut}$$

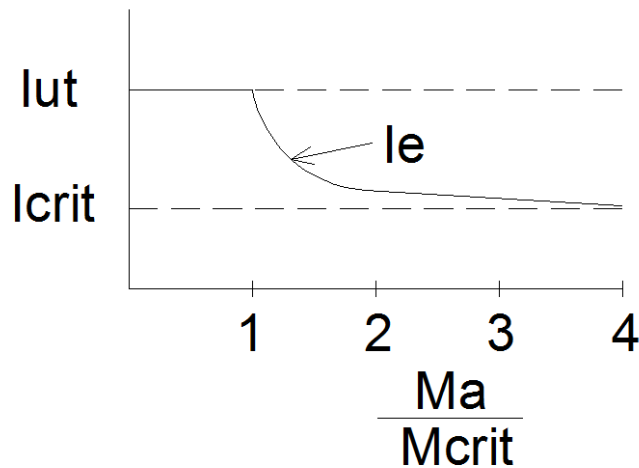


Figura 3.2 Momento de inercia efectivo.

Donde la nueva ubicación del eje neutro está dada por la expresión:

$$k \times d$$

Siendo:

$$k = \sqrt{\left[(\rho_{inf} + \rho_{sup})^2 \times n^2 + 2 \times n \left(\rho_{inf} + \frac{2 \times \rho_{sup}}{d} \right) \right]} - (\rho_{inf} + \rho_{sup}) \times n$$

“Para que sean validas las hipótesis enunciadas para el cálculo de sección fisurada la tensión de compresión del hormigón en la fibra extrema superior de la sección debe ser inferior al límite de proporcionalidad y la tensión de tracción en el acero debe ser inferior a la tensión de fluencia del material.”

Tensión de proporcionalidad $0.5 \times f_c'$

Tensión de fluencia del acero 420Mpa.

Donde:

$$f_c = \frac{2 \times M_u}{k \times j \times b \times d^2}$$

$$f_s = \frac{M_u}{j \times d \times A_s}$$

$$j = 1 - \frac{k}{3}$$

d = distancia desde la fibra superior de la sección y el centro de la armadura solicitada a tracción.

ρ = cuantía (relación entre el área de acero con respecto al área de hormigón).

n = relación entre el módulo del acero con respecto al del hormigón.

Basándonos en todo el procedimiento descrito anteriormente la solución adoptada para la determinación del desplazamiento en la cima se realizó bajo la siguiente metodología:

Al ser una sección doble T tronco piramidal (varia su sección transversal a lo largo de su longitud) se utilizara la solución analítica basada en el método de superposición [Solución obtenida de libro "Resistencia de Materiales" del autor TIMOSHENKO sección 9 pág. 655] en la que se considera al poste dividido en dos tramos de igual longitud (Figura 2), cada cual con su inercia correspondiente (estas serán las inercias de la sección media de cada tramo), sumándose los desplazamientos de cada tramo debido a la carga como se detallará a continuación.

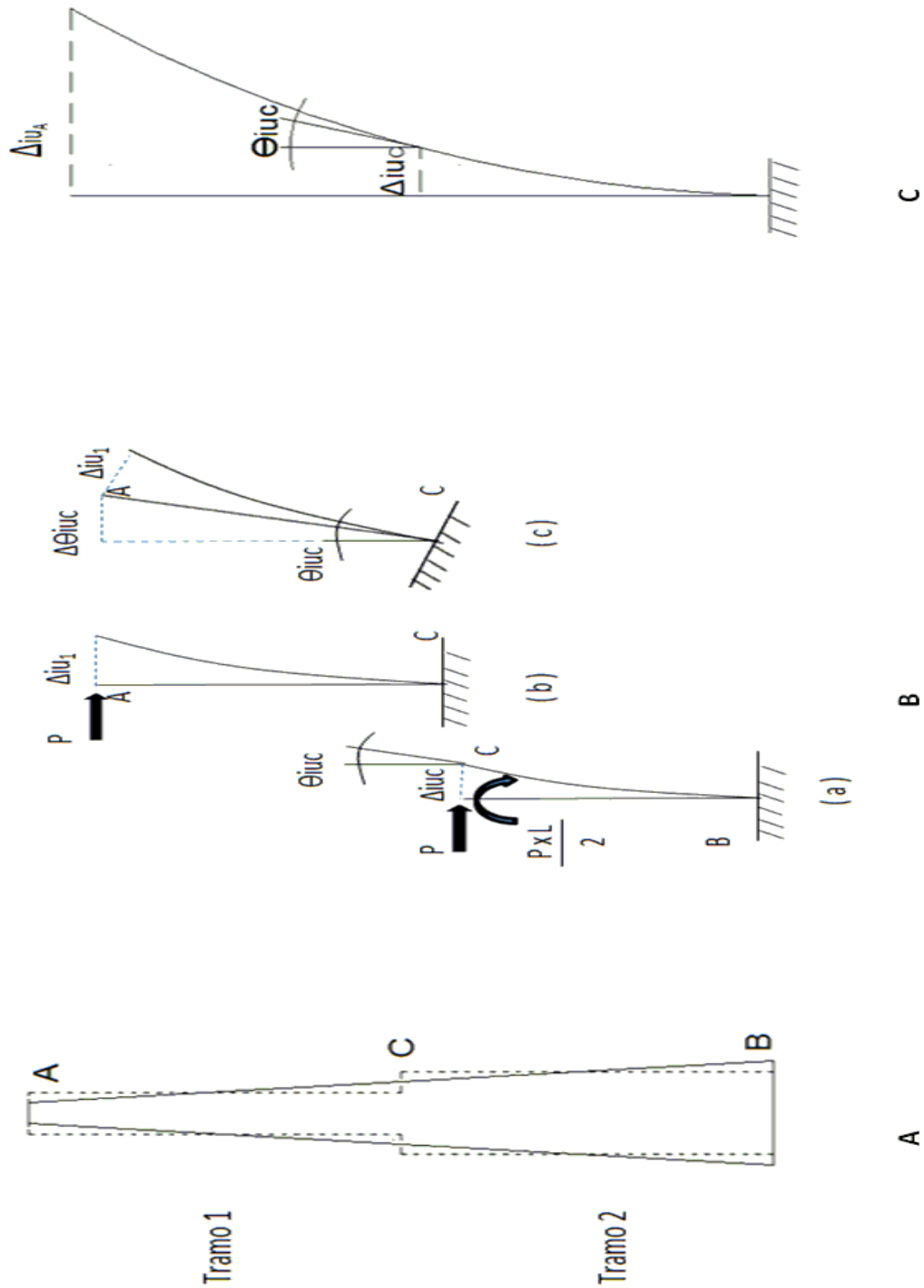


Figura 3.3 Método de superposición para determinar la deflexión en la cima para una viga en voladizo.

El desplazamiento en la cima, debido a la carga, estará dado por la suma de los siguientes desplazamientos:

- El desplazamiento Δi_{uc} (Figura 3a) producido en el extremo del tramo 2 (punto C).
- El desplazamiento $\Delta \theta_{iuc}$ (Figura 3c) producido en el extremo del tramo 1 (punto A) debido al giro en el extremo del tramo 2 (punto C).
- El desplazamiento Δi_{u_1} (Figura 3b) producido en el extremo del tramo 1 (punto A).

$$\Delta i_{u_A} = \Delta i_{u_1} + \Delta i_{uc} + \Delta \theta_{iuc}$$

$$\Delta i_{uc} = \frac{5 \times P \times L^3}{48 \times E \times I_2}$$

$$\Delta \theta_{iuc} = \frac{P \times L^3}{16 \times E \times I_2} + \frac{P \times L^3}{16 \times E \times I_1}$$

$$\Delta i_{u_1} = \frac{P \times L^3}{24 \times E \times I_1}$$

Donde I será para el caso de sección NO FISURADA igual a I_{ut} , mientras que para el caso de Sección FISURADA será igual a I_e

3.3.2 Resultados

Con el análisis anterior sobre las planillas del programa Microsoft Excel se obtuvieron los siguientes datos:

- Para la aplicación de la carga en la dirección de la sección de mayor resistencia en rangos especificados desde 80 DaN hasta 400 DaN los desplazamientos en la cima del poste serian:

CARGA (cima) DaN	MOMENTO (empotramiento) DaN m	CONDICIÓN	DESPLAZAMIENTO (Δ_{iUA} cima) cm	Porcentaje en relación a la longitud del poste
80	632	Sección NO FISURADA	1,87	0,21
160	1264	Sección FISURADA	5,83	0,65
240	1896	Sección FISURADA	15,85	1,76
280	2212	Sección FISURADA	21,18	2,35
320	2528	Sección FISURADA	26,36	2,93
360	2844	Sección FISURADA	31,34	3,48
400	3160	Sección FISURADA	35,07	3,90

Para la aplicación de la carga en la dirección de la sección de menor resistencia en rangos especificados desde 32 DaN hasta 144 DaN los desplazamientos en la cima del poste serian:

CARGA (cima) DaN	MOMENTO (empotramiento) DaN m	CONDICIÓN	DESPLAZAMIENTO (Δ_{iUA} cima) cm	Porcentaje en relacion a la longitud del poste
32	252,8	Sección NO FISURADA	3,66	0,41
64	505,6	Sección FISURADA	7,68	0,85
96	758,4	Sección FISURADA	23,65	2,63
112	884,8	Sección FISURADA	33,63	3,74
128	1011,2	Sección FISURADA	43,82	4,87
144	1137,6	Sección FISURADA	53,85	5,98

Capítulo 4

En este capítulo se establecerán los diferentes ensayos necesarios para presentar el informe técnico para la aceptación de los postes siendo el principal el ensayo a flexión en las dos direcciones de resistencia con sus consideraciones y procedimientos

4.1 Ensayo a flexión en la dirección de mayor resistencia, para verificar la carga nominal de rotura.

4.2 Ensayo a flexión en la dirección de menor resistencia, para establecer la clase de poste.

4.3 Ensayo de resistencia a compresión simple de probetas de hormigón endurecido según IRAM 1546.

4.4 Ensayo para la determinación del módulo de elasticidad en hormigón según ASTM C 469.

4.5 Granulometrías, densidad y absorción de áridos y proyecto de dosificación con pastón de prueba y moldeo de probetas para evaluar las resistencias.

4.7 Ensayo de resistencia a la tracción en probetas de barras de acero según IRAM IAS U 500 102-1/2.

4.1 Ensayo a flexión en la dirección de mayor resistencia.

4.1.1 Objetivo:

Establecer el valor de carga a rotura del poste tomando mediciones de las deformaciones y verificando las fisuras.

4.1.2 Procedimiento:

Edad del Poste: El montaje y el ensayo de los postes se realizaron una vez cumplidos los 28 días de su fecha de moldeo.

Posición: El poste se colocó en posición horizontal y, para anular los efectos del peso propio, fue necesario apoyarlo en dos sectores sobre unos patines con sus ruedas aceitadas para que pudiesen rodar con el menor rozamiento posible. Estos patines se colocaron uno con la mitad del tramo libre y el segundo patín se colocó próximo la cima.

Empotramiento: La base del poste se empotró en una estructura de hormigón armado, preparada para tal fin por la cooperativa aledaño al playón de acopio de los postes. La longitud de empotramiento del poste será del 10% de la longitud total.

Inspección visual y medida: Se realizaron inspecciones a los postes para detectar que no tuviesen desperfectos constructivos, y se inspeccionó su terminación superficial y presencia de fisuras. Se relevó la longitud al cm. y las medidas de la sección se relevaron al mm.

Medición de las deformaciones: Para el registro de las deformaciones de la cima del poste se colocó un marcador en la misma, y este fue dibujando el recorrido de la cima sobre una planilla de papel con cuadrículas de 1 cm. En dicha planilla se fueron marcando las etapas o escalones de carga corresponde dicha deformación. Posteriormente en gabinete se midieron con calibre los resultados sobre la planilla.

Como criterio de aceptación se estableció lo siguiente:

La deformación permanente no excederá del 5% de la flecha máxima alcanzada durante el ensayo.

De acuerdo a recomendación de Norma IRAM 1603, las flechas que resulten para las cargas de servicio serán del orden del 2,5% al 3,5% de la altura libre.

Medición de la Carga: La medición de las cargas se realizó con un dinamómetro digital de lectura mínima de 1 kg. Este instrumento presenta Certificado de calibración vigente.

Aplicación de la carga: La misma se realizó con un aparejo manual. Se aseguro que la dirección de aplicación fue a 90° del eje longitudinal del poste. La aplicación se realizó en coincidencia con la posición del hueco superior que tiene el poste para fijar la cruceta.

Los ciclos de carga y descarga se realizaron de acuerdo a la siguiente tabla:

ENSAYO	ETAPA	% R	C (kg)	Estabilización	OBSERVACIONES
SERVICIO (NO DESTRUCTIVO)	I	0	0		Se verifica que en las fisuras existentes, el ancho mayor sea el admisible. Se miden flecha y fisuras.
		20	80	2 min.	Se miden flecha y fisuras
		0	0	2 min.	Se mide la flecha residual y fisuras
	II	40	160	2 min.	Se miden flecha y fisuras
		0	0	2 min.	Se mide la flecha residual y fisuras
	III	60	240	2 min.	Se miden flecha y fisuras
		0	0	2 min.	Se mide la flecha residual y fisuras
	ROTURA	IV	70	280	2 min.
80			320	2 min.	Se mide la flecha
90			360	2 min.	Se mide la flecha
Rotura Real				Se mide la carga última de rotura y se describe el tipo de falla	

Medición de fisuras y valores: Para la medición de fisuras se utilizó un micrómetro óptico con escala graduada al 0,1 mm. Los criterios de aceptación son los siguientes:

Posterior a la etapa III del ensayo del poste, no deberá presentar, una vez descargado, desprendimientos de hormigón en la parte comprimida ni fisuras mayores de 0,1 mm en la parte traccionada.

Para los postes sometidos a la acción de cargas permanentes, el ancho máximo de las fisuras admisibles para condiciones y solicitaciones normales de trabajo será de 0,2 mm., pero para las estructuras destinadas a medios particularmente agresivos (costa marina, posibilidades de ataque químico, etc.) será de 0,1 mm.

Además, la deformación permanente no excederá del 5% de la flecha máxima alcanzada durante el ensayo. A los efectos de la determinación de la flecha se tendrá en cuenta la deformación del empotramiento.

4.2 Ensayo a flexión en la dirección de menor resistencia.

Se realizaron las mismas consideraciones que en el punto 4.1, considerando la siguiente tabla de carga:

ENSAYO	ETAPA	% R	C (kg)	Estabilización	OBSERVACIONES	
SERVICIO (NO DESTRUCTIVO)	I	0	0		Se verifica que en las fisuras existentes, el ancho mayor sea el admisible. Se miden flecha y fisuras.	
		20	32	2 min.	Se miden flecha y fisuras	
		0	0	2 min.	Se mide la flecha residual y fisuras	
	II	40	64	2 min.	Se miden flecha y fisuras	
		0	0	2 min.	Se mide la flecha residual y fisuras	
	III	60	96	2 min.	Se miden flecha y fisuras	
		0	0	2 min.	Se mide la flecha residual y fisuras	
	ROTURA	IV	70	112	2 min.	Se mide la flecha
			80	128	2 min.	Se mide la flecha
			90	144	2 min.	Se mide la flecha
Rotura Real				Se mide la carga última de rotura y se describe el tipo de falla		

4.3 Ensayo de resistencia a compresión simple de probetas de hormigón endurecido - IRAM 1546

La norma IRAM 1603 establece que la resistencia característica a la compresión a los 28 días no será menor a $210 \text{ DaN} / \text{cm}^2$.

Para ello se solicitó a la Cooperativa de Servicios Públicos y Sociales de Serrano la realización de muestreos de Hormigón para corroborar la resistencia y verificar los valores adoptados para el cálculo teórico.

4.4 Ensayos de modulo de elasticidad del hormigón en probetas de pastones de planta.

Para conocer el módulo de elasticidad del hormigón fabricado en planta se realizaron en 1 de cada 3 probetas utilizadas en el ensayo a compresión simple (las cuales pertenecen cada una a un pastón distinto) medición del módulo de elasticidad según la norma ASTM C 469.

4.5 Ensayos de granulometrías densidad y absorción en áridos y realización de un pastón de prueba.

Se realizó una dosificación para cumplimentar los requisitos de resistencia establecidos por la norma IRAM 1603 por lo cual fue necesario realizar ensayos sobre los áridos utilizados para la fabricación de poste y confeccionar una dosificación. Para ello la Cooperativa proveyó al Laboratorio de Estructura de los áridos y cemento que utilizan habitualmente. Dentro de las instalaciones del Laboratorio se realizaron los ensayos de granulometría, densidad y absorción en los agregados grueso y fino. De acuerdo a las características que debe tener el hormigón en su estado fresco y su resistencia final, se realizó un proyecto de dosificación realizando posteriormente un pastón de prueba para evaluar las características en estado fresco y realizaron pruebas de resistencia a compresión simple a 7 y 28 días.

4.6 Ensayo de resistencia a la tracción en probetas de barras de acero según IRAM IAS U 500 102-1/2

De igual manera que el punto anterior la Cooperativa proveyó muestras de acero utilizadas para la fabricación de postes y el Laboratorio realizó dos ensayos de tracción y dos ensayos de doblado para evaluar su resistencia y ductilidad.

Capítulo 5

En esta parte del informe se presentan los resultados de todos los ensayos realizados tanto in-situ, como en el laboratorio con sus observaciones y conclusiones.

- 5.1 Resultado de ensayos a flexión en cuatro postes de sección doble T de hormigón armado vibrado.
- 5.2 Resultados de ensayos a compresión simple en probetas realizadas por la Cooperativa.
- 5.3 Resultados de ensayos de módulo de elasticidad en probetas realizadas por la Cooperativa.
- 5.4 Resultados de análisis granulométricos y de densidad y absorción en áridos.
- 5.5 Propuesta de dosificación con su respectivos resultados de ensayos sobre el hormigón en estado fresco y endurecido.
- 5.6 Resultados de ensayos a tracción y doblado en barra de acero.

5.1 Ensayos a flexión en postes.

De acuerdo a lo establecido en el procedimiento de ensayo, informe 524-12 , el día 08/02/2013 en forma conjunta personal Técnico del Laboratorio de Estructuras y de la Cooperativa de Servicios Públicos y Sociales de Serrano se procedió a realizar cuatro ensayos a flexión en postes de hormigón armado de sección doble T. Los ensayos se realizaron en las instalaciones propias de la Cooperativa ubicadas en la Localidad de Serrano Provincia de Córdoba. De los cuatro ensayos dos se realizaron con la aplicación de la carga en la dirección de mayor resistencia y los otros dos con la aplicación de la carga en la dirección de menor resistencia.

Para la medición de la carga se utilizó un dinamómetro digital con certificado de calibración vigente.

El esquema de ensayo es el siguiente:

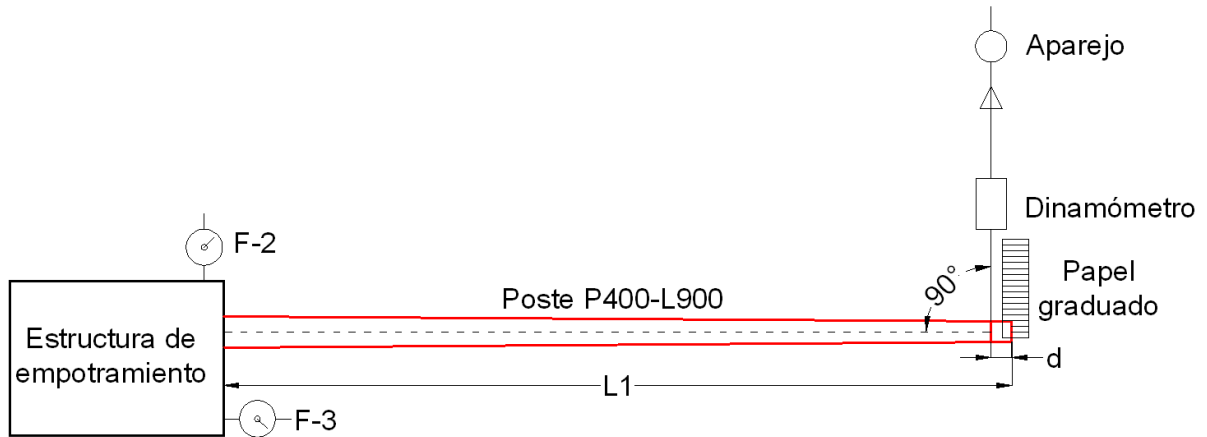


Figura 5.1 Esquema de ensayo.

Las características de los postes ensayados según el solicitante son las siguientes:

Carga Nominal de Rotura (R) = 400 DaN., aproximadamente 407 kg.

Longitud total = 9,00 m

Se niveló el terreno y se colocó una base de hormigón sobre la cual se apoyó el papel graduado donde quedará registrada la deflexión del poste. También se coloca el lápiz en la cima (figura 5.2).

Los postes son izados con la grúa instalada en el camión utilizado para el transporte de los postes hasta el punto de colocación (figura 5.3).

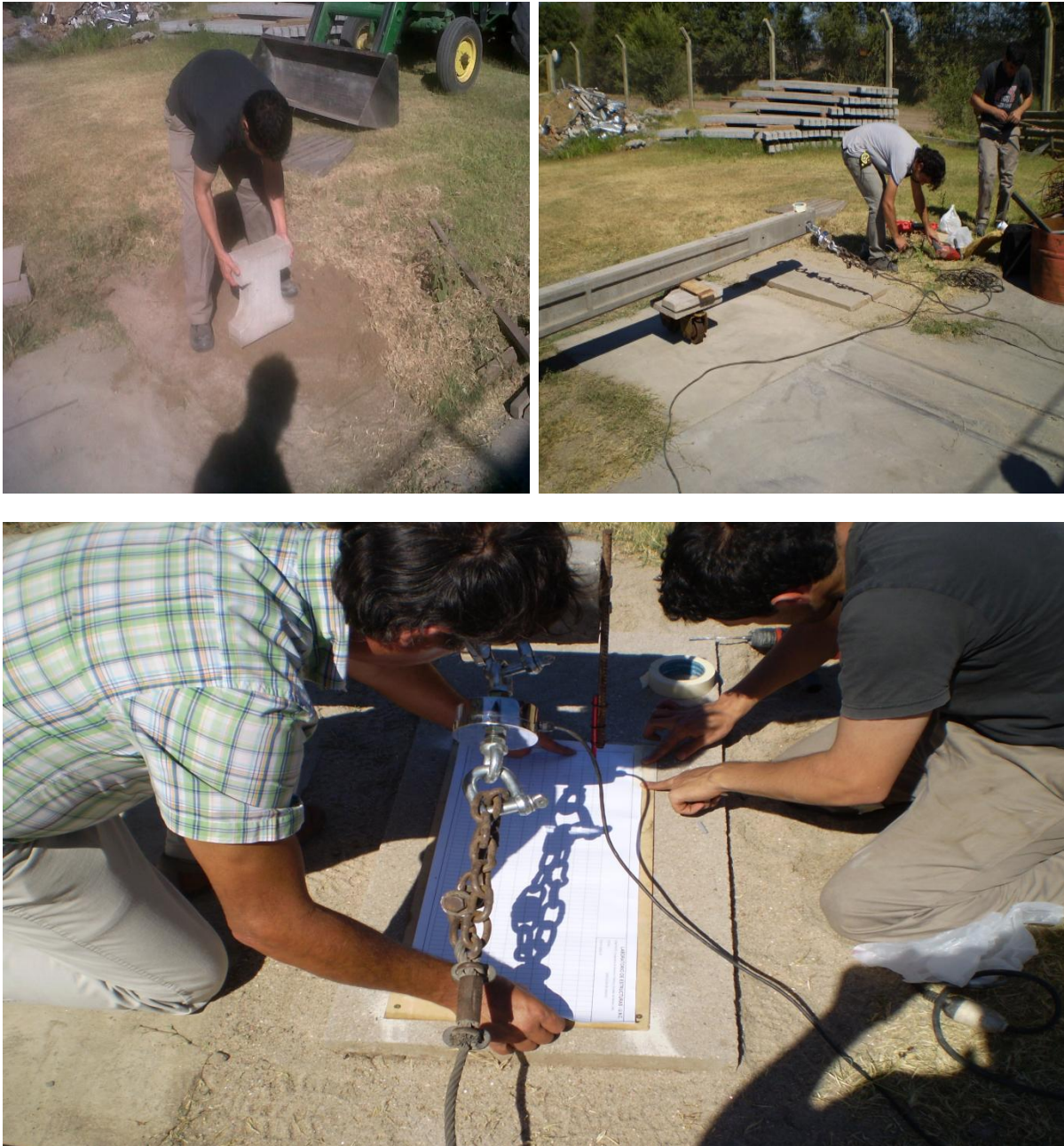


Figura 5.2 Preparación del ensayo (hoja graduada, lápiz y patines).



Figura 5.3 Fijación de los postes en la base de empotramiento.

5.1.1 Ensayos en la dirección de mayor resistencia

Ensayo Nº 0 (ensayo fallido)

Poste Serie: 900-400 (7-8-12)

Distancia del empotramiento al punto de aplicación de la carga: 7,96 m

Al realizarse el primer ensayo, se noto que las deformaciones no eran de la magnitud esperada. A medida que la carga aumentaba se comenzó a observar una gran fisura en la parte empotrada del poste debido a un desperfecto en el bloque de fijación. Este desperfecto provoco que el poste no apoye en toda la superficie de contacto, y la respuesta del mismo ante la sollicitación se concentró dentro de la zona de empotramiento y no en la prevista. Por lo cual este ensayo se descartó.

Viendo que este problema se iba a repetir en los ensayos siguientes, se buscó como solución improvisada calzar el poste en la cara donde, el contacto poste-base, era constante para suplir el desperfecto y en la otra caras reforzar con un perfil metálico IPN 160 (conociendo las características de este) para suplir la discontinuidad de contacto poste-base y distribuir la carga en toda la superficie de apoyo.

La solución fue satisfactoria dado que no se observó fisuración en los ensayos posteriores.





Figura 5.4 Fisura en el tamo de empotramiento.

Ensayo Nº 1

Poste Serie: 900-400 (3-7-12)

Distancia del empotramiento al punto de aplicación de la carga: 7,96 m

ENSAYO	ETAPA	% R	C (kg)	Estabilización	Deformación (cm)	Porc. de la long. útil	Flecha remanente	OBSERVACIONES/ FISURAS	
SERVICIO (NO DESTRUCTIVO)	I	0	0		----			-----	
		20	80	2 min.	2,2	0,3%		-----	
		0	0	2 min.	0,0		0,0%	-----	
	II	40	160	2 min.	6,6	0,8%		Sin fisuras apreciables	
		0	0	2 min.	0,0		0,0%	-----	
	III	60	240	2 min.	14,7	1,8%		Paneo fisurativo en 2,1 m se produjeron 10 fisuras menores a 0,1 mm	
		0	0	2 min.	1,5		10,2%	-----	
	ROTURA	IV	70	280	2 min.	18,8	2,3%		Paneo fisurativo en 2,6 m se produjeron 21 fisuras menores a 0,1 mm
80			320	2 min.	24,3	3,0%		Paneo fisurativo en 2,6 m se produjeron 23 fisuras de 0,2 mm	
90			360	2 min.	28,2	3,5%		-----	
			400	2 min.	34,1	4,2%		-----	
			420	2 min.	45,0	5,6%		Fisuras de 0,5 mm	
			430	2 min.	63,1	7,8%		-----	
			460					Desplazamientos en la cima del orden de 1,00	
			Estabilización			535 kg			-----
			Carga Pico			565 kg			-----

Ensayo N° 2

Poste Serie: 900-400 (28-6-12)

Distancia del empotramiento al punto de aplicación de la carga: 7,98 m

ENSAYO	ETAPA	% R	C (kg)	Estabilización	Deformación (cm)	Porc. de la long. útil	Flecha remanente	OBSERVACIONES/ FISURAS	
SERVICIO (NO DESTRUCTIVO)	I	0	0		----			-----	
		20	80	2 min.	3,0	0,4%		-----	
		0	0	2 min.	0,8		26,7%	-----	
	II	40	160	2 min.	8,5	1,1%		Sin fisuras apreciables	
		0	0	2 min.	2,2		25,9%	-----	
	III	60	240	2 min.	17,3	2,2%		Paneo fisurativo en 2,6 m se produjeron 15 fisuras menores a 0,1 mm	
		0	0	2 min.	4,5		26,0%	-----	
	ROTURA	IV	70	280	2 min.	21,5	2,7%		-----
80			320	2 min.	27,6	3,4%		Paneo fisurativo en 2,6 m se produjeron 26 fisuras menores a 0,1 mm	
90			360	2 min.	31,5	3,9%		Paneo fisurativo en 2,6 m se produjeron 30 fisuras de 0,1 mm	
			400	2 min.	37,2	4,6%		Paneo fisurativo en 4,0 m se produjeron 37 fisuras de 0,1 a 0,2 mm	
			434	2 min.				Fisuras de 0,5 mm y desplazamientos en la cima del orden de 0,7 m	
			472	2 min.				Desplazamientos en la cima del orden de 1,0 m	
			Carga Pico			566			Desplazamientos en la cima del orden de 1,70 m

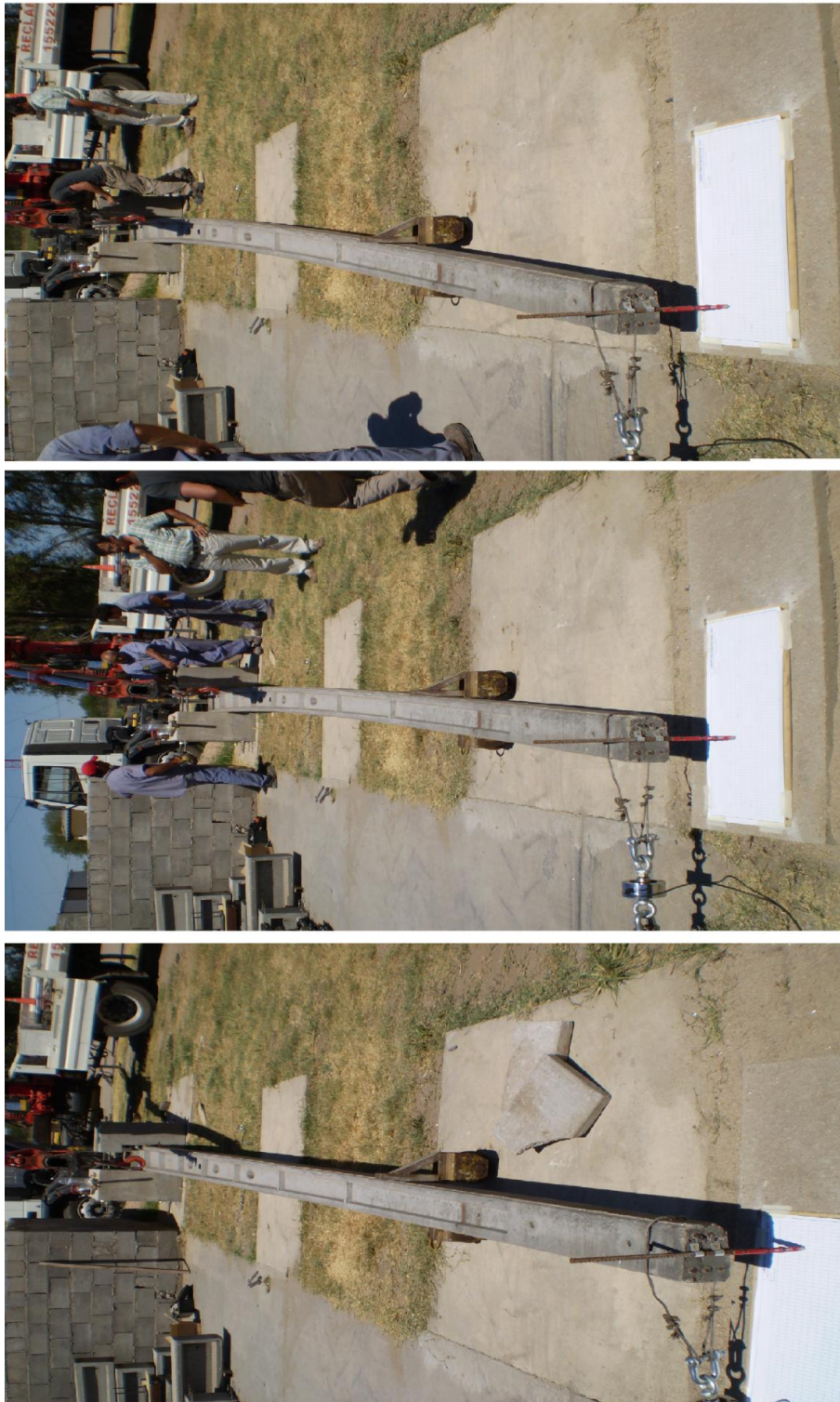


Figura 5.5 Secuencia de deformación de la cima debido a la variación de la carga.



Figura 5.6 deformación máxima ante la carga pico.

5.1.2 Ensayos en la dirección de menor resistencia

En este caso no hizo falta recurrir a la solución del ensayo anterior ya que la forma de apoyar de los postes sobre la base era diferente y la carga en el orden de la mitad.

Ensayo N° 1

Poste Serie: 900-400 (28-6-12)

Distancia del empotramiento al punto de aplicación de la carga: 8,04 m

ENSAYO	ETAPA	% R	C (kg)	Estabilización	Deformación (cm)	Porc. de la long. útil	Flecha remanente	OBSERVACIONES/ FISURAS
SERVICIO (NO DESTRUCTIVO)	I	0	0		----			-----
		20	32	2 min.	3,3	0,4%		-----
		0	0	2 min.	0,0		0,0%	-----
	II	40	64	2 min.	8,7	1,1%		Se detectaron fisuras menores a 0,1 mm
		0	0	2 min.	0,0		0,0%	Se cerró la fisura
	III	60	96	2 min.	21,0	2,6%		-----
		0	0	2 min.	2,2		10,5%	-----
	ROTURA	IV	70	112	2 min.	37,3	4,6%	
80			128	2 min.	47,9	6,0%		-----
90			144	2 min.	50,1	6,2%		Aparición de fisuras de 0,3 mm
			206	2 min.				Aparición de fisuras de 0,4 mm
Rotura Real					281		Deformación del orden de 1,30 m. Rotura por compresión del hormigón	

Ensayo N° 2

Poste Serie: 900-400 (7-12-12)

Distancia del empotramiento al punto de aplicación de la carga: 7,98 m

ENSAYO	ETAPA	% R	C (kg)	Estabilización	Deformación (cm)	Porc. de la long. útil	Flecha remanente	OBSERVACIONES/ FISURAS
SERVICIO (NO DESTRUCTIVO)	I	0	0		----			-----
		20	32	2 min.	5,7	0,7%		-----
		0	0	2 min.	1,2		21,1%	-----
	II	40	64	2 min.	16,3	2,0%		Sin Fisuración
		0	0	2 min.	4,9		30,1%	15 Fisuras de 0,1 mm en 3,20 m
	III	60	96	2 min.	36,5	4,5%		-----
		0	0	2 min.	8,4		23,0%	-----
	ROTURA	IV	70	112	2 min.	48,6	6,0%	
80			128	2 min.	55,2	6,9%		Paneo fisurativo en 4,0 m se produjeron 48 fisuras de 0,1 mm
90			144	2 min.	64,0	8,0%		Deformación del orden de 64 cm
			206	2 min.				Deformación del orden de 73 cm
			213					Fisuras de 0,3 mm
				Rotura Real		232		Deformación del orden de 1,96 m. Rotura por compresión del hormigón



Figura 5.7 a Inspección ocular de las fisuras.

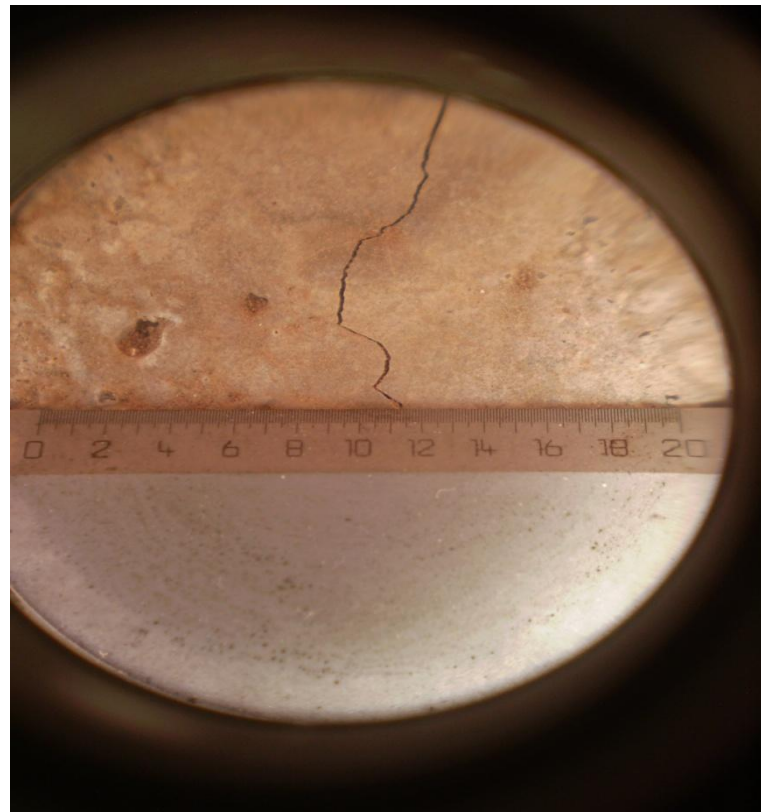


Figura 5.7 b Inspección ocular de las fisuras con instrumental (fisuras del orden de 0.1 milímetros).



Figura 5.7 c Inspección ocular de las fisuras con instrumental (fisuras del orden de 2 milímetros).

Se observa en las figuras 5.7 el aumento de longitud de las fisuras debido al aumento de la carga. Siendo al principio del orden de una decimas de milímetros y posteriormente de dos milímetros para la deformación máxima. Gracias al fisurómetro se puede apreciar y medir el tamaño de las fisura.

En la segunda foto se ve dentro de la fisura el árido utilizado en la construcción del poste.



Figura 5.8 Deformación permanente en la base de empotramiento.

Se puede ver que para la máxima deformación que se le aplicó al poste, solo se produjo el desprendimiento del hormigón de recubrimiento en la sección comprimida dejándose ver, en algunos casos, las armaduras longitudinales, mientras que en la sección de tracción se produjeron fisuras en el orden de medio centímetro Figuras 5.8 y 5.9.



Figura 5.9 Fisuras en la zona traccionada y desprendimiento del hormigón de recubrimiento en la zona comprimida.

5.2 Ensayos a compresión simple en probetas de hormigón.

La norma IRAM 1603 establece que la resistencia característica a la compresión a los 28 días no será menor a $210 \text{ DaN} / \text{cm}^2$. Para ello se le solicitó a la Cooperativa de Servicios Públicos y Sociales de Serrano la realización de muestreos de Hormigón para corroborar la resistencia característica y verificar los valores adoptados para el cálculo teórico. Se ensayaron 9 probetas las cuales son pertenecientes a 3 muestreos de diferentes días (3 por cada pastón). Los ensayos se realizaron a 28 días de moldeadas las probetas. Los resultados obtenidos son los siguientes:

N° de Probeta	Tension de Rotura en Mpa	Tension de Rotura en DaN/cm ²
Probeta 1	27,3 MPa	267,4 DaN/cm ²
Probeta 2	20,2 MPa	198,1 DaN/cm ²
Probeta 3	23,2 MPa	227,3 DaN/cm ²
Probeta 4	30,8 MPa	301,7 DaN/cm ²
Probeta 5	29,9 MPa	293,7 DaN/cm ²
Probeta 6	30,7 MPa	300,9 DaN/cm ²
Probeta 7	24,7 MPa	242,2 DaN/cm ²
Probeta 8	20,7 MPa	202,9 DaN/cm ²
Probeta 9	26,3 MPa	258,1 DaN/cm ²
Promedio	26,0 MPa	254,7 DaN/cm ²
Desvio	4,1 MPa	40,1 DaN/cm ²

Los resultados obtenidos arrojan un promedio de resistencia a la rotura por compresión simple de 26 Mpa, pero al existir una importante dispersión, de 4 MPa que corresponde a 15.5%, que hace difícil cumplir con el requisito que establece la Norma de referencia. Por lo tanto se recomienda realizar controles más exhaustivos en la producción de hormigón a través de una dosificación adecuada y controles de calidad.

5.3 Ensayo para la determinación del módulo de elasticidad.

Para conocer el módulo de elasticidad del hormigón fabricado en planta se realizaron ensayos según la norma ASTM C 469 en una de cada tres probetas utilizadas en el ensayo a compresión simple proporcionadas por la Cooperativa. En el modelo teórico de deformaciones se utilizó un valor de módulo que recomienda el reglamento CIRSOC 201. Los valores que arrojo el ensayos son muy cercanos al que se utilizó en el modelo, por lo cual hace que en el análisis teórico los resultados obtenidos se hayan basado en la utilización del modulo de elasticidad coincidente con la realidad que hace confiar aun mas en la estimación de las deformaciones.

Este ensayo se basa en la ley de Hook donde por medio de la lectura de la variación de la carga y de la variación de la deformación se obtiene el modulo de elasticidad.

$$\Delta\sigma = E \times \Delta\varepsilon$$

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Donde:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

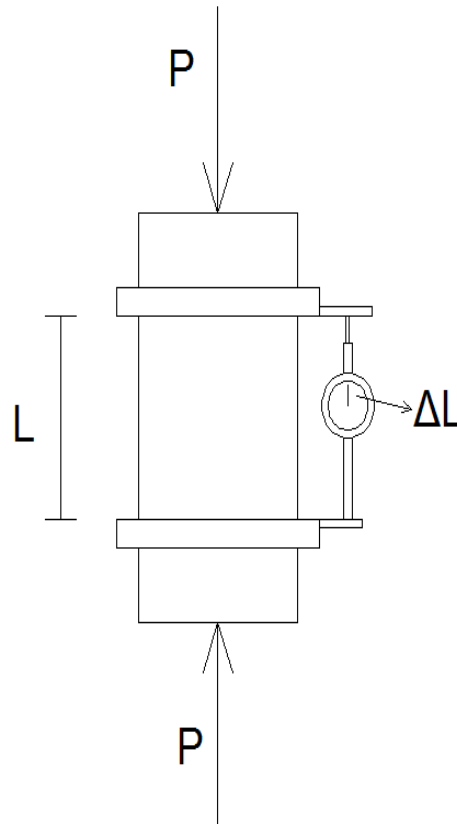


Figura 5.10 Esquema del concepto físico sobre el que se basa el ensayo.



Figura 5.11 Ensayo para la determinación del módulo de elasticidad.

Para este caso nuevamente se recurrió a crear una planilla en Microsoft Excel para obtener los resultados en base a las mediciones de dicho ensayo. Esta planilla se guardo para ser utilizada en futuros ensayos en el laboratorio.

Los resultados de los ensayos de módulo de elasticidad fueron los siguientes:

PASTON 1- PROBETA 3

Lectura	$E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$ (Mpa)	E Probeta (Mpa)
1	21.668	21.567
2	21.639	
3	21.395	

PASTON 2- PROBETA 6

Lectura	E = $\Delta\sigma / \Delta\varepsilon$ (Mpa)	E Probeta (Mpa)
1	23.037	23.174
2	23.411	
3	23.074	

PASTON 3- PROBETA 9

Lectura	E = $\Delta\sigma / \Delta\varepsilon$ (Mpa)	E Probeta (Mpa)
1	21.775	21.006
2	21.025	
3	20.217	

- Valor promedio de 3 probetas = 21.916 Mpa
- Fórmula que recomienda el CIRSOC 201

$$E = 4700 \times f_c^{1/2} = 4700 \times (21 \text{ MPa})^{1/2} = 21.538 \text{ MPa}$$

5.4 Ensayos de granulometrías, densidad y absorción en áridos para la realización de un pastón de prueba.

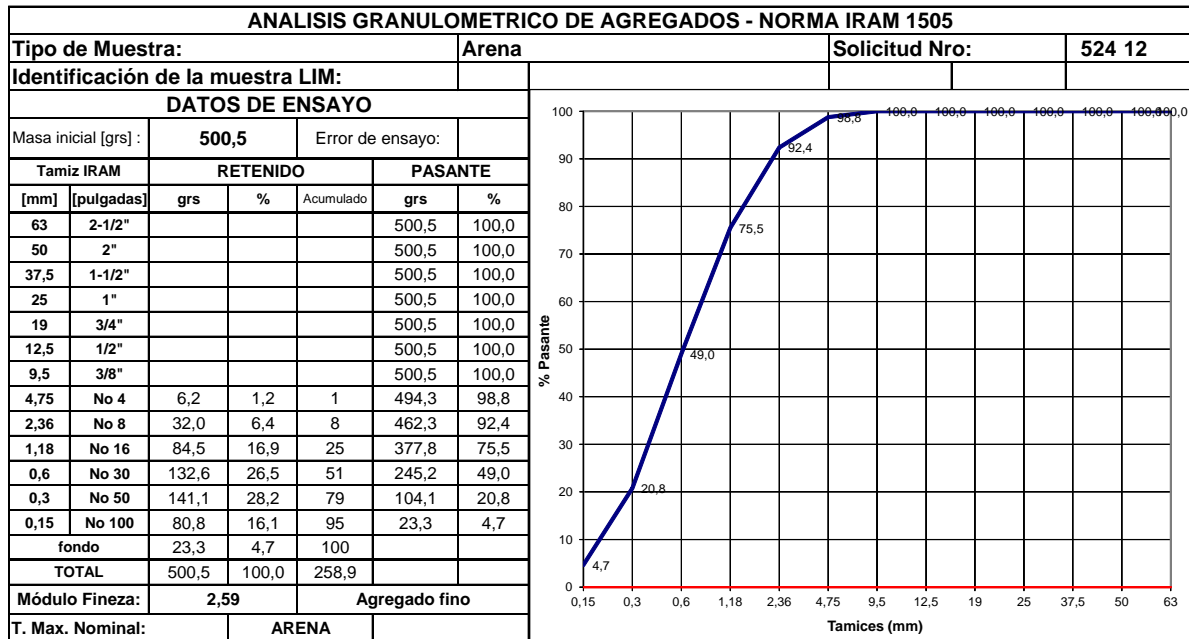
Para que el hormigón cumpla con los requisitos de resistencia que establece la norma IRAM 1603 y a su vez asegure una trabajabilidad y terminación superficial adecuada es necesario para la producción del mismo que la planta cuente con una dosificación que prevea dichos requerimientos. La norma establece un hormigón de resistencia característica a la compresión

de 21 Mpa y de acuerdo a la condiciones de colado, vibrado y curado del hormigón debe tener un asentamiento del cono de Abrams de entre 3 y 5 cm. La planta está trabajando desde hace largo tiempo con estos áridos por su fácil obtención, por lo cual no se decidió plantear alternativas de sustitución de los mismos, tampoco se planteó la alternativa de incorporar aditivos a la dosificación.

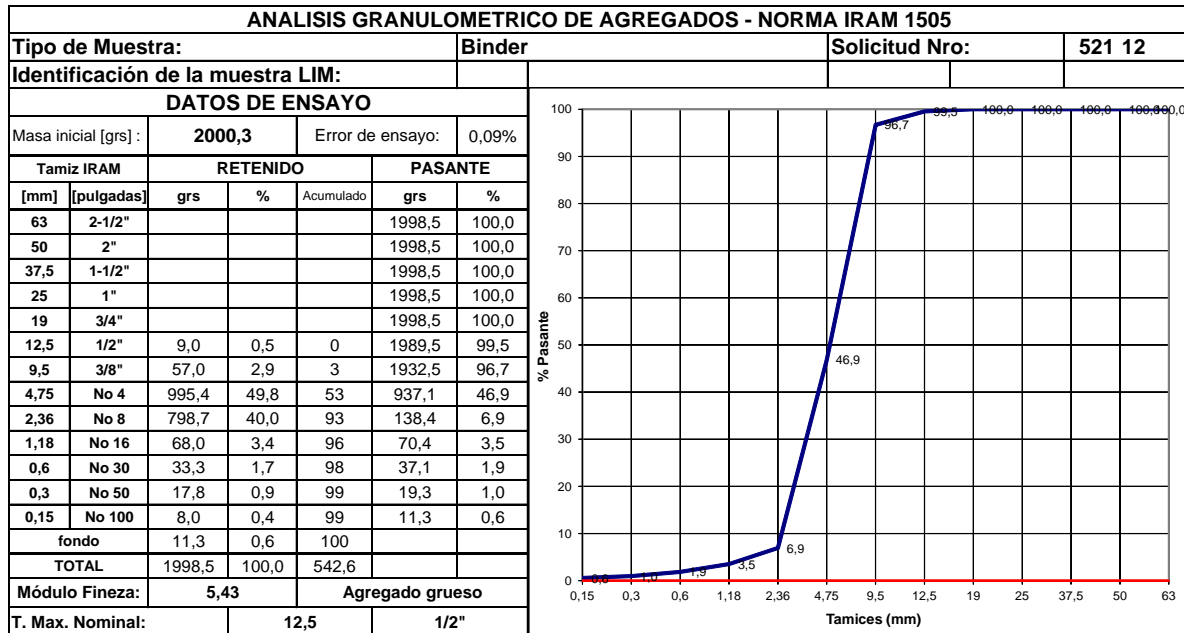
Los áridos que utiliza la planta son, como agregado fino una arena gruesa y como agregado grueso una piedra de río tipo binder. El cemento utilizado fue marca Loma Negra CPN 40. Para identificar las características de los áridos se realizaron ensayos de granulometría, densidad y absorción y densidad a granel. Con los requerimientos preestablecidos, los áridos y el cemento disponible se realizó una dosificación teórica y posteriormente se realizó un pastón de prueba para corroborar las características en estado fresco y a posteriori realizar ensayos de prueba de resistencia a compresión simple a 7 y 28 días

Los resultados de los análisis granulométricos son los siguientes

Arena:



Binder:



5.5 Propuesta de dosificación con sus respectivos resultados de ensayos sobre el hormigón en estado fresco y endurecido.

Para una relación agua/cemento 0.53, un asentamiento de entre 3 y 5 cm y una resistencia de 21 MPa (210 DaN/cm²) el porcentaje en peso es el siguiente:

Arena	20,7 %
Binder	59,5 %
Cemento	13,5 %
Agua	6,3 %

Debido a que en planta no se trabaja con relaciones de peso, sino de volumen se realizó ensayos de densidad a granel en la arena y el binder para determinar esta relación en volumen sin dejar de lado que se recomienda trabajar en relaciones de peso según lo mencionado al principio del informe.

En la siguiente tabla se muestra la dosificación en volumen referido a una parte de cemento.

Arena	1,2
Binder	3,4
Cemento	1,0
Agua	0,6

Con esta se realizó un pastón de prueba, se verificó el asentamiento establecido y se moldearon probetas cuyos resultados de la prueba de resistencia a la compresión simple a 7 y 28 días fueron los siguientes:

N° de Probeta	Edad (días)	Tensión de Rotura (Mpa)		Tension de Rotura (DaN/cm ²)	
Probeta 1	7	18,0	MPa	176,4	DaN/cm ²
Probeta 2	7	20,0	MPa	195,9	DaN/cm ²
Probeta 3	7	19,6	MPa	192,2	DaN/cm ²
Probeta 4	28	24,5	MPa	240,0	DaN/cm ²
Probeta 5	28	25,3	MPa	247,9	DaN/cm ²
Probeta 6	28	27,5	MPa	270,0	DaN/cm ²

Como se observa los resultados son bastante satisfactorios y presentan una diferencia respecto de la media menor al 15% por lo que los hace confiables.

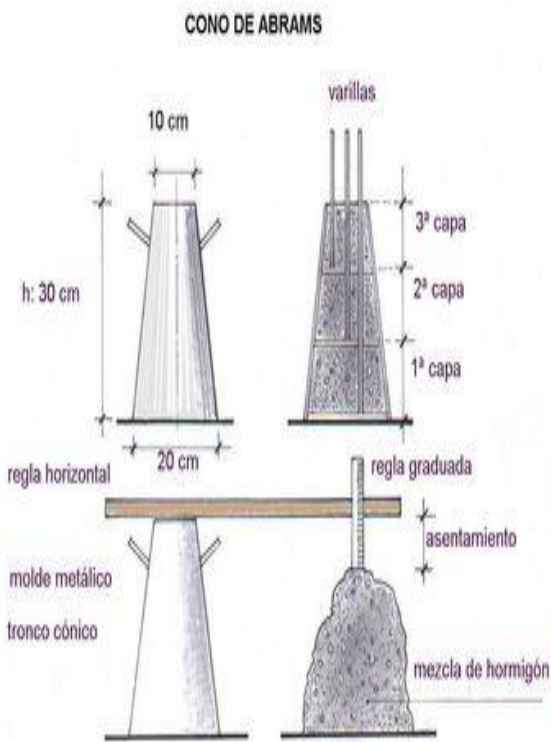


Figura 5.12 Asentamiento del hormigón según el cono de Abrams

5.6 Ensayo de resistencia a la tracción y doblado en probetas de barras de acero según IRAM IAS u 500 102-1/2

Para garantizar la calidad del acero que se utiliza en la fabricación de los postes se le realizó en 2 muestras, de acero marca AcerBrag ADN 420 de diámetro 8 mm que proveyó la Cooperativa, ensayos de tracción y doblado.

Para el ensayo de doblado se tomaron dos probetas de diámetro 8 mm con una longitud de 52 cm doblándolos con un ángulo de 180° sin observarse astillamiento, por lo que el ensayo dio un resultado satisfactorio.

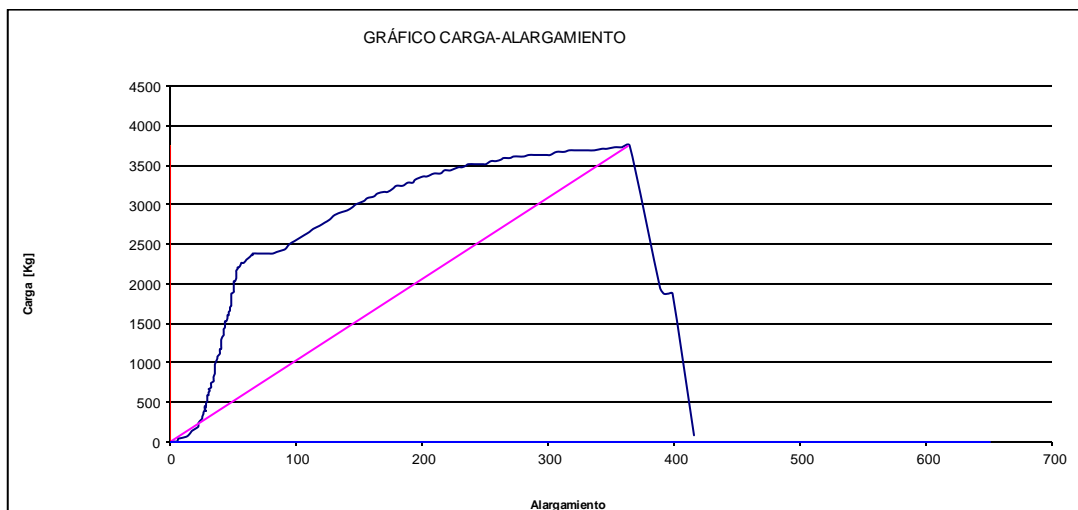
Los resultados del ensayo de tracción de las probetas de acero arrojaron los siguientes valores:

PROBETAS	Ø nominal mm	Ø equivalente mm	Alargam. de rotura (δ_5) * %	Alargam. de rotura (A_{10}) ** %	Tensión de fluencia kg/cm ²	Tensión de rotura kg/cm ²
781-1	8,00	8,06	20	13,75	4626	7280
781-2	8,00	8,09	12,5	13,75	4675	7526

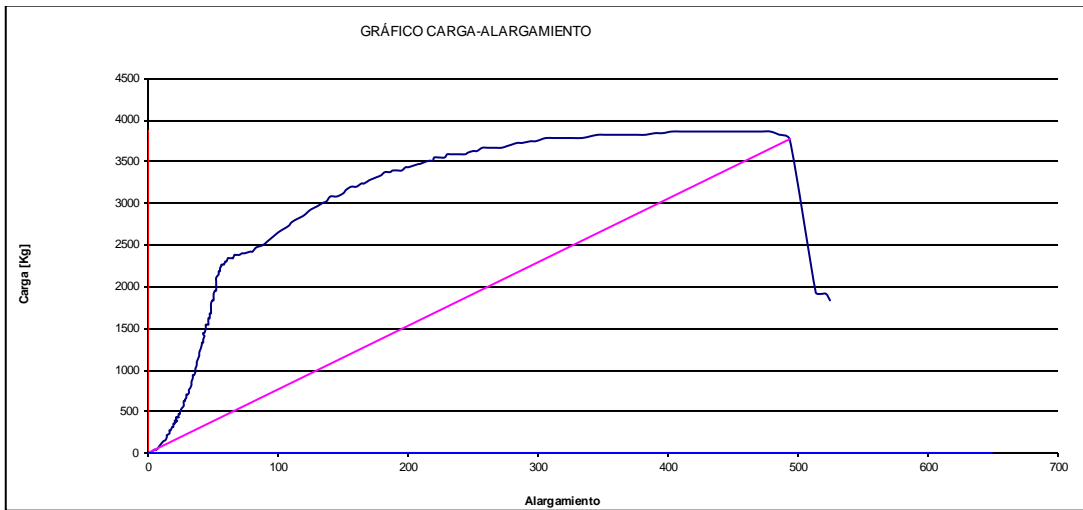
* δ_5 Alargamiento de rotura considerando 5 divisiones

** A_{10} Alargamiento de rotura considerando 10 divisiones

El reglamento CIRSOC 201 en la Tabla 3.8. Barras de acero para armaduras en estructuras de hormigón (pag 3-58) establece como alargamiento de rotura A_{10} un valor mínimo de 12%. De lo que se arroja en los resultados se aprecia que cumple con esta condición. Lo que respecta a resistencia establece una fluencia característica de 4.200 kg/cm² y una Resistencia a la tracción de 5.000 kg/cm² valores que se superan ampliamente con este acero.



781 - 1



781 - 2

Capítulo 6

6.1 Conclusión y análisis de resultados y recomendaciones.

Los ensayos se realizaron bajo el estricto cumplimiento del procedimiento establecido por las normas con anterioridad mencionadas, sin presentar observaciones que fueran a alterar las condiciones normales o invalidar los ensayos sin haber sido resuelta antes de utilizar los datos obtenidos.

Se puede decir que los postes han dado un resultado satisfactorio para la finalidad que la Cooperativa de Servicios Públicos y Sociales de Serrano Limitada desea darle a los mismos y que el ERSEP exige en estos.

Del análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de flexión sobre los postes podemos mencionar lo siguiente:

- Para los ensayos a flexión en la dirección de mayor resistencia se llegaron a cargas picos de 565 kg en ambos ensayos y se registraron cargas estabilizadas de 535 y 472 kg, estos valores considerablemente mayores al de la Carga Nominal de Rotura indicada por el fabricante de 407 kg o 400 DaN.
- Para los ensayos a flexión en la dirección de menor resistencia las cargas de rotura que produjeron el colapso estructural del poste fueron de 281 y 232 kg, el menor de este valor corresponde aproximadamente al 58% de la carga nominal de rotura. Al ser mayor que el 40%, (pero menor al 60%) de la carga nominal de rotura el poste se lo clasifica como Clase A según Norma IRAM 1722 – 1986, punto 3.1.14 de este informe. Se observa que este porcentaje, estando muy cerca del valor para clasificarlo como Clase B.
- Para los ensayos a flexión en la dirección de mayor resistencia los valores medidos de las deformaciones en la cima para la carga de servicio del 60% de R. son de 1,8 y 2,2 % de la longitud útil del poste. Valores aceptables según la recomendación de Norma IRAM 1603-1981, punto 10.3.

- Para los ensayos a flexión en la dirección de menor resistencia los valores medidos de las deformaciones en la cima para una carga del 40% de R, son de 1,1 y 2 % de la longitud útil del poste. Valores menores al 3% recomendado por la Norma de EPEC ET4. Punto 6.2.6 Tabla V.
- Las fisuras medidas en la etapa de servicio en todas las situaciones fueron de 0,1 mm., valor aceptable según recomendación de Norma IRAM 1603 – 1981 punto 6.7.
- Las fallas que producen la rotura en ambas situaciones fueron del tipo dúctil, con grandes deformaciones y fisuración, advirtiendo una sección de Hormigón subarmada. Este tipo de sección es la que recomienda el CIRSOC-201 para que la rotura física sea del tipo dúctil.
- El modelo teórico realizado para estimar las deformaciones bajo los diferentes estados de carga se ajustó muy bien a las deformaciones medidas. Por lo cual es de mucha importancia para predecir las deformaciones en estado fisurado. El objetivo de esta calibración es obtener una herramienta para evaluar el comportamiento de un poste de otras dimensiones y diferentes secciones de armadura. Además se modeló el poste en el programa RAM en el cual se obtuvieron resultados similares.
- Se dan las siguientes recomendaciones:
 - Aumentar la cantidad de estribos en los primeros 2 metros a partir de la zona libre de empotramiento, se hiciera una densificación de estribos cada 20 centímetros como ya se menciona en el capítulo 2.
 - Agregar una barra de diámetro 8 milímetros como armadura longitudinal según el cálculo del apartado 3.2.1.
 - Proteger de las condiciones climáticas a los áridos utilizados en la fabricación de los postes para no alterar el material a la hora de ser utilizado.
 - Medir la dosificación en peso y no en volumen como se lo hace actualmente.

- Realizar ensayos frecuentes, en lo posible cada vez que se realice un nuevo pastón, de absorción, para evitar la alteración de la relación agua/cemento del hormigón.
- Controlar el fragüe del hormigón, curándolo con alguno de los métodos conocidos para estos casos.

Anexo

Nomenclatura:

Ac : área neta de la sección de hormigón.

Anec : armadura necesaria de la sección.

As : área de la armadura traccionada de acero.

b : base de la sección.

bw : área del alma.

C : resultante interna de las tensiones de compresión.

d : distancia desde la fibra a compresión de la sección hasta la armadura longitudinal a tracción.

d_{sg} : distancia desde la armadura al eje baricéntrico de la sección.

Ec : modulo de elasticidad del hormigón.

fc : tensión de compresión del hormigón.

fc' : resistencia especificada la compresión del hormigón.

fct : tensión de tracción del hormigón.

fr : tensión o módulo de rotura del hormigón.

h: altura de la sección.

hf : altura de las alas de la sección.

Icrit : momento de inercia de la sección transformada fisurada.

Ie : momento de inercia efectiva.

Kc : profundidad relativa del eje neutro.

$K_r : 0.85 \Phi \beta_1 K_c K_z$

Kz : brazo de palanca reducido.

L : distancia de la base hasta la aplicación de la carga P.

Ma : momento solicitante.

M_{crit} : momento que produce fisuración por flexión en la sección debido a las cargas aplicadas externamente.

M_u : momento solicitante mayorado.

n : relación entre el modulo de elasticidad del acero y el modulo de elasticidad del hormigón.

P : carga aplicada en la cima.

T : resultante interna de las tensiones de tracción.

V_c : resistencia a corte puro del hormigón.

V_u : corte solicitante mayorado.

X : distancia desde la fibra a compresión de la sección hasta el eje neutro.

y_g : posición del eje baricéntrico de la sección respecto al eje de referencia.

z : brazo de palanca.

β_1 : coeficiente de reducción de la profundidad de la zona comprimida de hormigón.

β_r :

ρ = cuantía (relación entre el área de acero con respecto al área de hormigón).

Φ : coeficiente de reducción.

\emptyset : diámetro de la armadura.

Tabla para dimensionado y verificación de secciones de hormigón según CIRSOC 201.

ACERO ADN 420 - HORMIGONES H20/H25/H30									
TABLA PARA DIMENSIONES Y VERIFICACION DE SECCIONES SEGUN SIRSOC 201-2002 FLEXION SIMPLE Y FLEXION COMPUESTAS GRAN EXCENRICIDAD, CON ESTRIBOS Y CERRADOS									
	Kr	Kz	Kc	Es (0/00)	Ec (0/00)	φ	ρ % (H20)	ρ % (H25)	ρ % (H30)
ZONA CONTROLADA POR TRACCION	0,050	0,966	0,079	35,00	3,00	0,900	0,03	0,34	0,41
	0,057	0,961	0,091	30,00	3,00	0,900	0,31	0,39	0,47
	0,064	0,956	0,103	26,00	3,00	0,900	0,36	0,44	0,53
	0,071	0,951	0,115	23,00	3,00	0,900	0,40	0,50	0,60
	0,080	0,945	0,130	20,00	3,00	0,900	0,45	0,56	0,67
	0,087	0,939	0,143	18,00	3,00	0,900	0,49	0,61	0,74
	0,096	0,933	0,158	16,00	3,00	0,900	0,54	0,68	0,81
	0,106	0,925	0,176	14,00	3,00	0,900	0,61	0,76	0,91
	0,119	0,915	0,200	12,00	3,00	0,900	0,69	0,86	1,03
	0,135	0,902	0,231	10,00	3,00	0,900	0,79	0,99	1,19
	0,145	0,894	0,250	9,00	3,00	0,900	0,86	1,08	1,29
	0,157	0,884	0,273	8,00	3,00	0,900	0,94	1,17	1,41
	0,170	0,873	0,300	7,00	3,00	0,900	1,03	1,29	1,55
	0,178	0,866	0,316	6,50	3,00	0,900	1,09	1,36	1,63
	0,182	0,862	0,324	6,25	3,00	0,900	1,12	1,39	1,67
	0,186	0,858	0,333	6,00	3,00	0,900	1,15	1,43	1,72
	0,190	0,854	0,343	5,75	3,00	0,900	1,18	1,47	1,77
	0,195	0,850	0,353	5,50	3,00	0,900	1,21	1,52	1,82
0,200	0,845	0,364	5,25	3,00	0,900	1,25	1,56	1,88	
	0,205	0,841	0,375	5,00	3,00	0,900	1,29	1,61	1,94
ZONA DE TRANSICION	0,205	0,835	0,387	4,75	3,00	0,874	1,33	1,66	2,00
	0,205	0,830	0,400	4,50	3,00	0,854	1,38	1,72	2,06
	0,205	0,824	0,414	4,25	3,00	0,833	1,42	1,78	2,14
	0,205	0,818	0,429	4,00	3,00	0,812	1,47	1,84	2,21
	0,206	0,817	0,432	3,95	3,00	0,808	1,49	1,86	2,23
	0,206	0,808	0,452	3,64	3,00	0,782	1,55	1,94	2,33
	0,207	0,800	0,472	3,36	3,00	0,759	1,62	2,03	2,43
	0,207	0,791	0,492	3,10	3,00	0,737	1,69	2,12	2,54
	0,208	0,782	0,512	2,86	3,00	0,717	1,76	2,20	2,64
	0,208	0,773	0,534	2,62	3,00	0,697	1,84	2,30	2,75
	0,208	0,763	0,558	2,38	3,00	0,678	1,92	2,40	2,88
0,209	0,752	0,584	2,14	3,00	0,658	2,01	2,51	3,01	
ZONA CONTROLADA POR COMPRESION	0,210	0,745	0,600	2,00	3,00	0,650	2,06	2,58	3,10
	0,213	0,739	0,615	1,88	3,00	0,650	2,25	2,81	3,83
	0,218	0,730	0,636	1,72	3,00	0,650	2,54	3,18	3,81
	0,222	0,721	0,656	1,57	3,00	0,650	2,88	3,60	4,32
	0,226	0,712	0,677	1,43	3,00	0,650	3,26	4,07	4,89
	0,231	0,703	0,699	1,29	3,00	0,650	3,73	4,66	5,60
	0,235	0,694	0,719	1,17	3,00	0,650	4,23	5,29	6,35
	0,238	0,685	0,741	1,05	3,00	0,650	4,85	6,07	7,28
	0,247	0,662	0,796	0,77	3,00	0,650	7,11	8,89	10,67
	0,254	0,643	0,840	0,57	3,00	0,650	10,14	12,68	15,22

Fotocopia de las planillas de las deflexiones en la cima de los postes y demás ensayo relajados.

Bibliografía.

- Norma IRAM 1546 Ensayo de resistencia a compresión simple de probetas de hormigón endurecido.
- Norma ASTM C 469 Ensayo para la determinación del módulo de elasticidad en hormigón.
- Norma IRAM IAS U 500 102-1/2 Ensayo de resistencia a la tracción en probetas de barras de acero.
- Norma IRAM1603 / 1981 Elementos Estructurales de Hormigón. Postes de hormigón armado para soporte de instalaciones aéreas.
- Norma IRAM 1722 / 1986 Postes de Hormigón armado y pretensado de sección rectangular o doble T y forma tronco piramidal para líneas de media tensión.
- CIRSOC 201 Proyecto, Cálculo y Ejecución de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado.
- Apunte del curso de Hormigón Armado y Pretensado de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Apunte de cátedra del curso de Diseño de Hormigón Armado y Pretensado de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Libro "Resistencia de Materiales" del autor TIMOSHENKO sección 9 pág. 655.