

# **UNIVERSIDAD DE CUENCA**



## **FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“DISEÑO DE POSTES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA EN HORMIGÓN  
PRETENSADO”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

### **AUTORES**

**PEDRO JOSÉ MÁRQUEZ PESANTEZ**

**JUAN PABLO MENDIETA CORREA**

### **DIRECTOR**

**ING. CÉSAR FABIÁN CARRASCO CASTRO M.Sc.**

Cuenca, octubre de 2016



## RESUMEN

La tecnología de postes de transmisión en hormigón pretensado esta poco desarrollada en el Ecuador. Casi la totalidad de los postes son fabricados con la metodología convencional de hormigón armado. Los beneficios que nos ofrece esta técnica son varios, algunos entre ellos, un mejor comportamiento estructural ante las sollicitaciones de carga, menor cantidad de fisuras, reducción del peso, una disminución en el costo y mejor control de calidad. El objetivo del presente documento es determinar la factibilidad de uso de los postes de hormigón pretensado en el Ecuador, bajo los requisitos de las normas INEN. Un estudio analítico-experimental se presenta con la finalidad de validar el diseño analítico. Se desarrolla una hoja de cálculo para el diseño de distintos tipos de postes en las que se incluye perdidas en el preesfuerzo, etapas de pretensado y resistencia ultima. Se implementa adicionalmente un análisis de costos determinando los precios comerciales del poste de hormigón pretensado. Los resultados indicaron que: postes circulares de 10 y 12 metros, presentan un mejor comportamiento estructural ante las sollicitaciones de carga dadas por la norma INEN, a un costo y peso similar. Por otro lado, en los postes sección en H de 17 y 20 metros, presentaron buen comportamiento estructural, menor costo y una significativa reducción en peso. Se encontró que este modelo analítico se comporta de manera similar al experimental. El uso de hormigón pretensado respondió favorablemente a los requerimientos establecidos para los postes de transmisión eléctrica. Se justifica el uso de esta alternativa en Ecuador.

### **Palabras Claves:**

Postes de transmisión, hormigón pretensado, comportamiento estructural, precios comerciales.



## ABSTRACT

Technology of prestressed concrete transmission poles structures is not fully developed in Ecuador. Almost all poles are manufactured with the conventional methodology of reinforced concrete. The advantages offered by this technique are several. Some of them are a better structural behavior under load solicitations, fewer cracks, and a significant reduction in weight, among others. Furthermore, it adds a costs reduction and better quality control. The purpose of this paper is to determine the feasibility of using prestressed concrete poles in Ecuador, under the requirements of the INEN standards. An analytical-experimental study is presented in order to validate the analytical design. A spreadsheet is developed for the design of different types of poles, featuring losses in prestressing, prestressing stages, and ultimate capacity. A cost analysis is further implemented so as to determine the commercial cost of prestressed concrete pole. The results indicated that: circular poles 10 and 12 meters, have a better structural behavior under load requests given by the INEN standard, with a similar weight and cost. On the other hand, in H poles section of 17 and 20 meters, they featured good structural performance, lower cost and a significant reduction of weight. It was found that this analytical model behaves similarly to the experimental one. The use of prestressed concrete responded favorably to the requirements established for electrical transmission poles. The use of this alternative in Ecuador is then justified.

### **Keys Words:**

Transmission poles, prestressed concrete, structural behavior, commercial cost.



## CONTENIDO

1	Introducción .....	13
1.1	Introducción y antecedentes.....	13
1.2	Justificación.....	14
1.3	Objetivos.....	14
1.3.1	Objetivo general .....	14
1.3.2	Objetivos específicos .....	14
2	Consideraciones iniciales de los postes a ser estudiados.....	15
2.1	Características Físicas.....	15
2.1.1	Secciones .....	15
2.1.2	Altura .....	15
2.1.3	Longitud de empotramiento $L_1$ .....	16
2.2	Cargas.....	16
3	Materiales .....	18
3.1	Agregados del Hormigón .....	18
3.2	Propiedades del Hormigón.....	18
3.3	Acero de Preesfuerzo.....	19
3.4	Acero de refuerzo convencional.....	20
4	Diseño .....	20
4.1	Criterio de diseño.....	20
4.1.1	Pérdidas .....	20
4.1.2	Etapas en el pretensado .....	21
4.1.3	Esfuerzo Último .....	21
4.1.4	Esfuerzo de fisuración .....	22
4.1.5	Cortante, Torsión y Pandeo.....	22
4.1.6	Refuerzo transversal .....	22
4.1.7	Deflexión .....	23
4.1.8	Efecto sísmico.....	23
4.2	Metodología de diseño.....	24
4.2.1	Pérdidas del preesfuerzo.....	24
4.2.2	Etapas del pretensado.....	26
4.2.3	Diseño por última resistencia.....	28
4.2.4	Fisuración y ancho de grietas.....	30
4.2.5	Cuantía mínima y máxima .....	31



4.2.6	Cortante y Torsión.....	32
4.2.7	Deflexiones.....	35
4.2.8	Efecto sísmico.....	36
4.3	Resultados.....	40
4.3.1	Pérdidas del preesfuerzo.....	40
4.3.2	Resultados postes sección circular .....	46
4.3.3	Resultados postes sección H.....	59
5	Modelo Físico.....	73
5.1	Selección del modelo .....	73
5.2	Consideraciones de encofrado.....	73
5.3	Proceso de fabricación .....	74
5.4	Ensayo .....	75
5.4.1	Equipo y elementos de ensayo.....	75
5.4.2	Procedimiento ensayo de carga horizontal .....	75
5.4.3	Ensayo de rotura.....	76
5.4.4	Cargas de ensayo .....	76
5.4.5	Medición de las Fisuras.....	76
5.4.6	Requisitos de flexión y deflexiones.....	77
5.4.7	Reporte.....	78
6	Análisis Económico de factibilidad.....	79
6.1	Análisis de costos .....	79
6.1.1	Postes de hormigón armado.....	79
6.1.2	Postes PRFV .....	80
6.1.3	Postes de hormigón pretensado.....	80
7	Conclusiones.....	81
8	Referencias.....	82
9	ANEXOS:.....	83
9.1	ANEXO 1: Oferta fabricación postes de hormigón pretensado .....	83
9.2	ANEXO 2: PLANOS.....	84
9.3	ANEXO 3: Tablas del PCI para pérdidas.....	85
9.4	ANEXO 4: Dimensiones de los cofres .....	88
9.5	ANEXO 5: Proceso de fabricación .....	89
9.6	ANEXO 6: Rotura de probetas .....	96
9.7	ANEXO 6: Ensayo .....	97



## Lista de figuras

Figura 1: Curvas esfuerzo deformación, adaptada de (Nawy, 2009) pág. 36.	19
Figura 2: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	37
Figura 3: Espectro de diseño para los casos de estudio	39
Figura 4: Secciones inicial y final poste circular 10 m	46
Figura 5: Sección inicial y final poste circular 12m	52
Figura 6: Secciones inicial y final poste H 20 m	59
Figura 7: Secciones inicial y final poste H 17 m	66
Figura 8: Geometría para cofres poste tipo H	73
Figura 9: Placas al inicio y final de la bancada	74
Figura 10: Vista en planta de la bancada	74

## Lista de tablas

Tabla 1: Longitudes típicas de postes	15
Tabla 2: Cargas nominales de rotura	16
Tabla 3: Especificaciones técnicas tomadas del MEER.	17
Tabla 4: Especificaciones técnicas tomadas de Elecdor	17
Tabla 5: Propiedades del acero de preesfuerzo	19
Tabla 6: Características de los torones comúnmente usados utilizados, adaptado de ASTM A 416/A 416M.	19
Tabla 7: Causas de las pérdidas de la fuerza de pretensado	21
Tabla 8: Límites en los esfuerzos al tensar los cables.	26
Tabla 9: Límites para los esfuerzo a compresión y tracción	26
Tabla 10: Parámetros para el espectro de diseño	39
Tabla 11: Detalle de pérdidas poste circular 10 m	40
Tabla 12: Resumen pérdidas poste circular 10 m	41
Tabla 13: Detalle de pérdidas poste circular 12 m	42
Tabla 14: Resumen pérdidas poste circular 12 m	42
Tabla 15: Detalle de pérdidas poste tipo H 20 m	43
Tabla 16: Resumen pérdidas poste tipo H 20 m	44
Tabla 17: Detalle de pérdidas poste tipo H 17 m	45
Tabla 18: Resumen pérdidas poste tipo H 20 m	45
Tabla 19: Periodo natural poste circular 10 m	52
Tabla 20: Cortante basal para poste circular 10 m	52
Tabla 21: Periodo natural poste circular 12 m	58
Tabla 22: Cortante basal para poste circular de 12m	59



Yo, Juan Pablo Mendieta Correa autor de la tesis “DISEÑO DE POSTES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA EN HORMIGÓN PRETENSADO”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de (INGENIERO CIVIL). El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, octubre 2016

---

Juan Pablo Mendieta Correa

C.I: 0104925912



Universidad de Cuenca  
Clausula de derechos de autor

---

Yo, Pedro José Márquez Pesántez autor de la tesis “DISEÑO DE POSTES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA EN HORMIGÓN PRETENSADO”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de (INGENIERO CIVIL). El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, octubre 2016

Pedro José Márquez Pesántez

C.I: 0105297840



Universidad de Cuenca  
Clausula de propiedad intelectual

---

Yo, Juan Pablo Mendieta Correa, autor de la tesis "DISEÑO DE POSTES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA EN HORMIGÓN PRETENSADO", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, octubre 2016

Juan Pablo Mendieta Correa

C.I: 0104925912



Universidad de Cuenca  
Clausula de propiedad intelectual

---

Yo, Pedro José Márquez Pesántez, autor de la tesis "DISEÑO DE POSTES DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA EN HORMIGÓN PRETENSADO", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, octubre 2016

Pedro José Márquez Pesántez

C.I: 0105297840



## DEDICATORIA

A mis padres José y Raquel quienes han hecho posible que cumpla cada una de las metas propuestas. Además de su apoyo y consejo. A mis hermanos Tarquino y Luis, quienes han motivado cada uno de los pasos dados hasta ahora. Sin duda han sido el pilar fundamental para lograr este objetivo.

Pedro Márquez



## DEDICATORIA

A mis padres Pablo y María Fernanda que han sido la guía y ejemplo en mi vida, a mis hermanos Pedro, Mateo y María Paz quienes son mi inspiración para ser una mejor persona cada día.

Juan Pablo Mendieta



## AGRADECIMIENTOS

Nuestra gratitud a todas las personas e instituciones que han hecho posible la concepción y desarrollo de este proyecto de titulación:

A nuestro director Ing. Fabián Carrasco M.Sc. que desde las aulas nos incentivó sobre el uso de la tecnología del hormigón pretensado. Por toda la confianza depositada en nosotros y los conocimientos transmitidos durante este periodo.

A la empresa RFV CONSTRUCCIONES CIA LTDA. y a todo el equipo de planta en especial a los ingenieros Raúl Carrasco, Vladimir Carrasco y Byron Peñaloza. Por su gran apoyo en la fabricación del prototipo.

Al Ing. Diego Orellana M.Sc. que por medio de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur nos compartió su conocimiento sobre el tema desarrollado.

Pedro Márquez  
Juan Pablo Mendieta



# 1 Introducción

## 1.1 Introducción y antecedentes

La necesidad de distribuir energía eléctrica a un menor costo en el Ecuador ha hecho que se busquen varias alternativas. Actualmente los postes de transmisión utilizados son de hormigón armado y polímeros reforzados con fibras de vidrio (PRFV), los cuales se fabrican en ciudades como Guayaquil, Loja y Quito. Los requisitos a los que están sujetos estos postes hacen que el hormigón pretensado presente ventajas ante el hormigón armado, el cual es el más utilizado en el país. Entre las principales se puede enumerar las siguientes (Raju, 2012):

1. Resistencia a la corrosión en climas húmedos y templados y erosión en áreas desérticas.
2. Fácil manipulación debido a menor peso frente al hormigón armado.
3. Resistencia al fuego.
4. Fácil instalación.
5. Presenta una mejor apariencia y requiere un menor mantenimiento, haciéndolo ideal para zonas urbanas.
6. Mayor resistencia a la fisuración.

El uso del hormigón pretensado para la fabricación de Postes de Transmisión Eléctrica ha sido desarrollado por varios autores: (ASCE Task Force/PCI Committee on Concrete, 1997; Rodgers Jr, 1984; Task Committee on Concrete Pole Structures, 2012) y normalizado: (ASTM C1089-13, 2013; INEN 1965, 2015; INEN 1967, 2015; Prestressed Concrete Institute (PCI), 1999, 2010). Esta tecnología ha sido ampliamente usada en países desarrollados, con un mercado que requiere miles de postes anualmente.

En el Ecuador los requisitos de la norma INEN para los postes de hormigón armado son generalizados para los postes de hormigón pretensado, únicamente se diferencia en los requisitos específicos de carga y recubrimiento. Un análisis completo del comportamiento estructural del poste de hormigón pretensado bajo los requisitos establecidos, permitirá conocer cuál es su utilidad desde el punto de vista práctico. Permitiendo determinar la factibilidad de su fabricación a nivel local (Austro) y a nivel nacional.



## 1.2 Justificación

Utilizar una nueva alternativa para la distribución de energía eléctrica, con la cual se genere un ahorro económico, considerando las etapas desde la fabricación hasta la colocación del poste en el terreno. Permite que tanto la empresa encargada de la distribución, en el Azuay Empresa Regional Centro Sur, y el consumidor se vean beneficiados. Además de fortalecer el sector productivo (fábricas de elementos prefabricados y pretensados), conjuntamente incentivar su venta y producción a nivel nacional.

Una alternativa viable para la distribución de este servicio básico en nuestro país debido a su uso común y ventajas mencionadas, son los postes de hormigón pretensado. Determinar su factibilidad de fabricación frente a los de hormigón armado resulta fundamental.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Determinar la factibilidad de uso de postes de hormigón pretensado como una alternativa para la distribución de energía eléctrica en nuestro medio, ajustándonos a los requisitos establecidos por las normas INEN 1964, 1965, 1966, 1967.

### 1.3.2 Objetivos específicos

1. Desarrollar una hoja de cálculo con las etapas correspondientes al diseño del elemento pretensado y resistencia última.
2. Obtener secciones recomendables (poste tipo H 17 y 20 m; poste circular 10 y 12 m) ajustándonos a la norma INEN 1965.
3. Fabricar y ensayar el prototipo de sección en H bajo la norma INEN 1967.
4. Realizar un análisis comparativo de costos entre un poste de hormigón armado, PRFV y pretensado.



## 2 Consideraciones iniciales de los postes a ser estudiados.

### 2.1 Características Físicas.

#### 2.1.1 Secciones

Las secciones de uso común en nuestro medio son: la sección circular y tipo H. Las normas vigentes homologadas por el (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2011) (MEER) hacen énfasis en los postes de sección circular, dando rangos de los diámetros de la base y punta del poste, así como de su espesor (5-7 cm). El departamento de agricultura de los Estados Unidos mediante una recopilación de información del ACI, AISC, ANSI, ASCE, recomiendan tener un espesor mínimo de 6,35cm (2,5 in) en postes centrifugados y 7,62 cm (3 in) en postes fundidos estáticamente (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2016).

Los postes tipo H si bien están bajos los mismos requerimientos en cuanto a resistencia y comportamiento, no se define una geometría en las normas, sin embargo, en catálogos de empresas que fabrican estos postes en hormigón armado (Electrificaciones del Ecuador Elecdor S.A, 2015) se pueden encontrar algunas dimensiones de partida, como la conicidad de las dos caras principales del poste.

#### 2.1.2 Altura

Las alturas de los postes están definidas por la norma INEN 1965, como se indica en la Tabla 1. Dentro de estas, las más comunes para postes circulares son las de 10 y 12 m, mientras que los postes tipo H son utilizados para casos más específicos con alturas promedio de 20 m.

LONGITUDES POSTES DE HORMIGON ARMADO Y PRETENSADO (m)		
	L	≤ 8
8,5	< L	< 10
10,5	< L	< 12
12,5	< L	< 14
14,5	< L	< 16
16,5	< L	< 18
18,5	< L	< 20
20,5	< L	< 22
22,5	< L	< 24
24,5	≤ L	

Tabla 1: Longitudes típicas de postes



### 2.1.3 Longitud de empotramiento $L_1$

La longitud de empotramiento, para anclar el poste a tierra está definida por la norma INEN 1965 y está dada por la longitud total del poste dividida entre 10 más 50 cm.

$$L_1 = \frac{L}{10} + 50 \text{ cm}$$

Esta profundidad a su vez determina la sección crítica a flexión del poste, y nos permite determinar su comportamiento variando las secciones y el armado.

## 2.2 Cargas.

En el poste actúan diversas cargas debido a los cables, equipo adjunto, conexiones entre otras. Sin embargo, el diseño del elemento está controlado por flexión y todas estas cargas fueron unificadas de acuerdo a la norma INEN, y aplicadas a 20 cm de la punta del poste. La Tabla 2 establece las cargas nominales de rotura mínimas para que los postes no sufran daño en el transporte y manipuleo. Estas podrán ser modificadas siempre que se verifique analíticamente este requisito INEN 1965 numeral 5.2.2. La carga aplicada sirve para cualquier tipo de sección. Si esta sección no presenta igual resistencia en todas las direcciones, la carga de rotura, según el eje de menor resistencia, será mayor o igual que el 40% de la carga nominal de rotura INEN 1965 numeral 4.7.

LONGITUD DEL POSTE L (m)				CARGA NOMINAL DE ROTURA MINIMA Pnr (kgf)		
	L	≤	8	ARMADO	PRETENSADO	
	<	L	<	8	200	200
8,5	<	L	<	10	300	300
10,5	<	L	<	12	400	400
12,5	<	L	<	14	600	900
14,5	<	L	<	16	1000	1200
16,5	<	L	<	18	1200	1500
18,5	<	L	<	20	1400	1800
20,5	<	L	<	22	1600	2200
22,5	<	L	<	24	1800	2500
24,5	≤	L			2000	2800

Tabla 2: Cargas nominales de rotura

Estas cargas nominales de rotura, consideran un factor de seguridad de 2 sobre la carga de servicio, de esta forma los postes a diseñarse deberán tomar en cuenta estos valores.



Como se observa en la tabla 2, para postes mayores a 12m, se especifica una carga de rotura mayor en los postes de hormigón pretensado comparados con los de hormigón armado, esto indica que cuando se requiera postes de mayor resistencia se debería utilizar postes de hormigón pretensado.

Los datos de la Tabla 2 fueron homologados por el MEER con el objetivo de que todas las unidades de materiales para distribución estén unificadas, para los postes circulares se presenta la homologación en la Tabla 3.

#### ESPECIFICACIONES PARTICULARES DE POSTE CIRCULAR DE HORMIGÓN ARMADO

ITEM	DESCRIPCIÓN TÉCNICA	ALTURA DEL POSTE (m)	CARGA NOMINAL DE ROTURA HORIZONTAL (Kg)	DIAMETRO PUNTA (cm)	DIAMETRO BASE (cm)
3	POSTE CIRCULAR DE HORMIGON ARMADO, 10 m x 400 kg	10	400	13 a 16	28 a 34
7	POSTE CIRCULAR DE HORMIGON ARMADO, 12 m x 500 kg	12	500	13 a 16	30 a 38

Nota:

Las alturas normalizadas que deberán usarse en áreas urbanas son: 10 m en bajo voltaje y 12 m en medio voltaje

Tabla 3: Especificaciones técnicas tomadas del MEER.

Para el poste tipo H no se dispone de especificaciones en dimensiones como lo es para el poste circular. Sin embargo, se toma como referencia los postes fabricados por la empresa Elecdor la cual trabaja bajo las normas INEN pertinentes. Para el caso de análisis se tiene los datos de la Tabla 4.

#### REFERENCIAS PARTICULARES PARA POSTE TIPO H DE HORMIGÓN ARMADO

ITEM	DESCRIPCIÓN TÉCNICA	ALTURA DEL POSTE (m)	CARGA NOMINAL DE ROTURA HORIZONTAL (Kg)	DIAMETRO PUNTA (cm)	DIAMETRO BASE (cm)
1	POSTE TIPO H DE HORMIGON ARMADO, 17 m x 2000 kg	17	2000	16 X 22	37 X 51
2	POSTE TIPO H DE HORMIGON ARMADO, 21 m x 2400 kg	21	2400	16 X 22	41 X 58

Tabla 4: Especificaciones técnicas tomadas de Elecdor



## 3 Materiales

### 3.1 Agregados del Hormigón

#### **Cemento:**

Se puede utilizar cemento Portland (ASTM C150), es común en fábricas de hormigón pretensado utilizar un cemento de alta resistencia inicial como el HE dado por la norma NTE INEN 2380 equivalente a la ASTM-C1157.

#### **Agregado fino y grueso:**

Se debe tener agregados duros, lavados, inertes, libres de materia orgánica, sulfatos y sales (Según la ASTM C33). El tamaño máximo de los agregados en hormigón será de 19 mm (3/4 in), además no se deberá exceder  $\frac{3}{4}$  del espaciamiento libre entre refuerzo de acero y la superficie del poste, ni  $\frac{3}{4}$  de la distancia mínima entre barras de acero.

#### **Aditivos:**

Comúnmente se usa súper-plastificantes de alto rango, reductores de agua (tipo Sika ViscoCrete 2100), para conseguir una mezcla trabajable y a su vez reducir la relación agua cemento, factor de importancia en la resistencia del hormigón.

#### **Agua:**

Se usa agua libre de contaminantes externos, el agua potable de Cuenca cumple con todas las exigencias requeridas.

### 3.2 Propiedades del Hormigón

#### **Esfuerzo a la compresión:**

La resistencia de diseño a la compresión es de 400 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, determinada según las recomendaciones de ASTM C39. En hormigón pretensado la resistencia mínima a la compresión es recomendable que no sea menor de 350 kg/cm<sup>2</sup> (ASCE Task Force/PCI Committee on Concrete, 1997; Task Committee on Concrete Pole Structures, 2012).

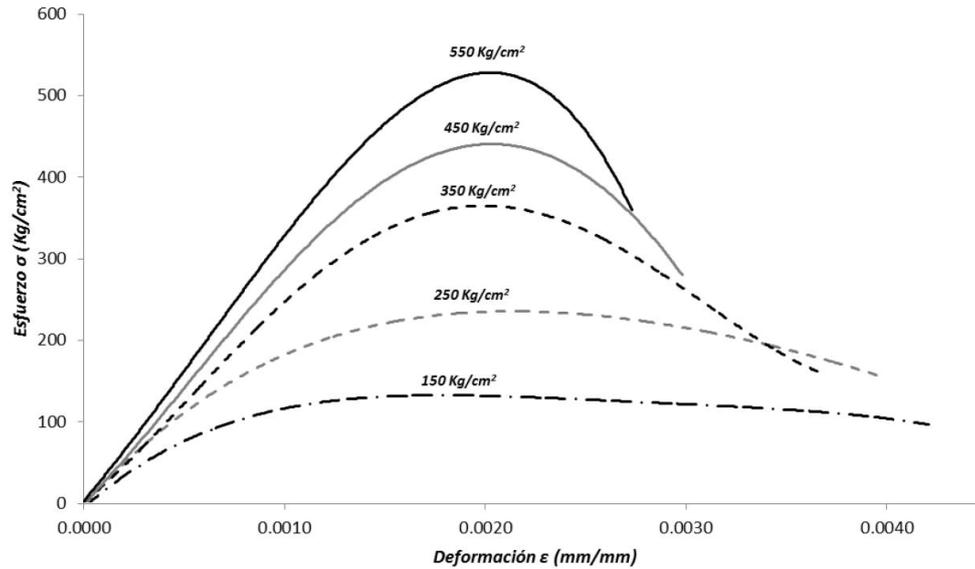


Figura 1: Curvas esfuerzo deformación, adaptada de (Nawy, 2009) pág. 36.

### 3.3 Acero de Preesfuerzo

Es recomendable usar cables sin revestimiento grado 270 ksi de baja relajación, en el diseño del poste de sección circular y tipo H (ASTM A416) (Carrasco, 2010).

#### Aceros de preesfuerzo:

	Grado 270	Grado 250
Esfuerzo mínimo de rotura (fpu) kg/cm <sup>2</sup>	19000	17600
Esfuerzo mínimo de fluencia (fpy) kg/cm <sup>2</sup>	17120	15850

Tabla 5: Propiedades del acero de preesfuerzo

Diámetro Nominal		Resistencia a la ruptura		Área Nominal del Torón		Carga mínima para una elongación de 1%	
in	mm	Lb	kN	pulg2	mm2	Lb	kN
<b>GRADO 250</b>							
0,250	6,35	9000	40,0	0,036	23,22	7650	34,0
0,313	7,94	14500	64,5	0,058	37,42	12300	54,7
0,375	9,53	20000	89,0	0,080	51,61	17000	75,6
0,438	11,11	27000	120,1	0,108	69,68	23000	102,3
0,500	12,70	36000	160,1	0,144	92,90	30600	136,2
0,600	15,24	54000	240,2	0,216	139,35	45900	204,2
<b>GRADO 270</b>							
0,375	9,53	23000	102,3	0,085	54,84	19550	87,0
0,438	11,11	31000	137,9	0,115	74,19	26550	117,2
0,500	12,7	41300	183,7	0,153	98,71	35100	156,1
0,600	15,24	58600	260,7	0,217	140,00	49800	221,5

Tabla 6: Características de los torones comúnmente usados utilizados, adaptado de ASTM A 416/A 416M.



### 3.4 Acero de refuerzo convencional

#### Acero de refuerzo pasivo:

El acero longitudinal no preesforzado se usa como refuerzo en secciones críticas para aumentar la capacidad a momento último. En el diseño se debe tener en cuenta que el acero de refuerzo pasivo no sobrepase el límite elástico, evitando así deformaciones permanentes.

#### Refuerzo transversal:

Se usa refuerzo transversal en el diseño con el fin de resistir los esfuerzos radiales producidos por el efecto de acuñamiento. Además de disminuir las grietas producidas a torsión, cortante, retracción y esfuerzos producidos por temperatura.

El PCI menciona en su publicación de noviembre- diciembre de 1997:

“El efecto de acuñamiento producido por la liberación de las fuerzas de pretensado provoca tensiones de tracción en todos los puntos de corte a lo largo del poste. Así, a lo largo de la longitud de transferencia (Aproximadamente 50 veces el diámetro). El torón produce un esfuerzo radial alrededor del concreto, lo cual debe ser contrarrestado con un adecuado refuerzo transversal.” Caso contrario se producirían grietas longitudinales a lo largo del elemento. (ASCE Task Force/PCI Committee on Concrete, 1997; Task Committee on Concrete Pole Structures, 2012).

## 4 Diseño

### 4.1 Criterio de diseño

Existen varios criterios a tomarse en cuenta para diseñar un poste de hormigón pretensado, relacionados con el proceso de pretensado, pérdidas, diseño último, cortante, torsión, deflexiones. Además, se debe tomar en cuenta el efecto de las fuerzas sísmicas, debido a la alta sismicidad que el Ecuador posee.

#### 4.1.1 Pérdidas

Las pérdidas de la fuerza de pretensado están presentes en el hormigón y en el acero de preesfuerzo. No son constantes, decrecen con el tiempo. El cálculo de las mismas no es una práctica habitual en los postes de hormigón pretensado, la experiencia ha mostrado que un análisis detallado de las pérdidas de pretensado para postes de hormigón puede no ser necesario, excepto en circunstancias inusuales. Sin embargo, para este estudio se realiza un cálculo de las mismas, para verificar si se encuentran en el rango recomendado entre 15 a 25 % (Task Committee on Concrete Pole Structures, 2012). Las pérdidas se dividen como se muestra en la Tabla 7.



	<b>Hormigón</b>	<b>Acero</b>
<b>Instantáneas</b>	Acortamiento elástico instantáneo	Corrimiento y ajuste de cuñas
<b>Diferidas en el tiempo</b>	Retracción del fraguado	Relajación del acero
	Fluencia plástica del hormigón	

Tabla 7: Causas de las pérdidas de la fuerza de pretensado

#### 4.1.2 Etapas en el pretensado

Para garantizar el correcto funcionamiento del elemento es necesario revisar el comportamiento en las siguientes etapas:

1. Tensado y corte de los cables
2. Transporte e izado

Al momento de tensar los cables se debe asegurar que no se excedan los esfuerzos admisibles en los mismos, esto se puede lograr de distintas maneras: control por medio de un manómetro y de la elongación del cable, en este caso optamos por tensar a un esfuerzo admisibles de 13500 kg/cm<sup>2</sup> para postes circulares y 14000 kg/cm<sup>2</sup> para postes de sección H.

Al cortar los cables, la sección debe ser capaz de resistir los esfuerzos en compresión generado por la fuerza de pretensado y el peso propio del elemento. Estos esfuerzos se evalúan en la sección donde se produce el mayor momento debido a peso propio. En caso de exceder los valores admisibles se puede modificar la sección, cantidades de acero de preesfuerzo, resistencia del hormigón al momento de cortar o colocar acero pasivo. Esta última opción resulta práctica debido a que estos esfuerzos máximos se presentan en zonas localizadas.

Finalmente tenemos que asegurar que el elemento tenga un buen comportamiento en el transporte e izado. Estas etapas a diferencia de otros elementos prefabricados son importantes para los postes de transmisión eléctrica. La alta demanda de postes hace que estos sean transportados grandes distancias y bajo diversas condiciones. Por esto es necesario asumir puntos críticos de sujeción del poste y además considerar un factor de impacto para los momentos generados en esas secciones. En el izado del poste, el factor principal es el peso. Esto hace que alternativas más livianas como el hormigón pretensado generen un ahorro de tiempo y personal.

#### 4.1.3 Esfuerzo Último

El esfuerzo último a flexión es el punto donde se producirá la falla del poste, usualmente por aplastamiento del hormigón (ASCE Task Force/PCI Committee on Concrete, 1997). El poste es idealizado como un elemento empotrado, con una carga lateral perpendicular al eje vertical del poste, localizada a 20 cm de la punta. La sección crítica a flexión se produce a la altura de empotramiento, siendo este, el criterio que predomina en el diseño del elemento.



El diseño a última resistencia se hace directamente con la carga nominal de rotura Tabla 3 y 4. Estas cargas ya consideran un factor de mayoración de 2 sobre las cargas de servicio. Los factores de reducción son los utilizados habitualmente para el diseño de hormigón armado de acuerdo al código ACI.

Una práctica común en los postes de hormigón pretensado es colocar acero pasivo en las zonas de mayor momento. Para esto se debe hacer un análisis del poste a lo largo de su longitud para garantizar que la relación demanda capacidad se cumpla. Los puntos de corte del acero pasivo deben garantizar la longitud de desarrollo respectivo.

#### **4.1.4 Esfuerzo de fisuración**

Una de las ventajas de los postes de hormigón pretensado es un mejor comportamiento ante la corrosión. Esto se puede lograr comprobando que el momento máximo que se produce, sea menor al momento de fisuración ( $M_{cr}$ ). De esta manera se garantiza que bajo las cargas de servicio el elemento no se va a fisurar. Se recomienda que el momento de servicio sea menor al momento de fisuración, el cual depende del esfuerzo de rotura a tracción (módulo de ruptura) del hormigón ( $f_r$ ) y del aporte de la fuerza de preesfuerzo (Task Committee on Concrete Pole Structures, 2012). Sin embargo, este proyecto se ajusta a las fisuras admisibles dadas por la norma INEN 1965. Los requisitos establecidos por la norma INEN se presentan en la sección 5.4.6 de este trabajo.

#### **4.1.5 Cortante, Torsión y Pandeo**

El cortante y torsión casi nunca controla el diseño del elemento. En todo caso se debe comprobar que las secciones con mayor concentración de fuerzas y esfuerzos cumplan con los requisitos dados por el PCI. La torsión es un caso muy particular porque inicialmente las fuerzas laterales están en equilibrio.

Cuando se tienen cargas verticales considerables, o el poste es de dimensiones transversales muy pequeñas, de tal forma que se tiene un poste muy esbelto, se debe realizar una comprobación de falla por pandeo. En la práctica cuando la carga vertical es superior a 470 kg se usan dos postes con crucetas para soportar el peso.

#### **4.1.6 Refuerzo transversal**

##### **Refuerzo transversal para poste tipo H**

La norma INEN 1965 numeral 4.9, establece el refuerzo mínimo que debe llevar una sección aún no sea necesario por cálculo. Un diámetro mínimo de 5,5 mm con un espaciamiento máximo de 500mm.

##### **Refuerzo para el poste de sección circular**

En las especificaciones dadas por en el manual del ASCE (Task Committee on Concrete Pole Structures, 2012) se necesita un refuerzo espiral a lo largo del poste. El diámetro mínimo será de 4,8 mm (3/16 in) de acuerdo a ASTM A-82.



### Espaciamiento en los extremos

Para una distancia de 92 cm (3 ft) desde la punta y base del poste, los espirales deberán tener un espaciado máximo de 4,4 cm (1-3/4 in) y no menos de 3,1 cm (1-1/4 in).

### Espaciamiento máximo

En el resto del poste el espaciado máximo está dado por la siguiente condición.

$$A_v \left( \frac{F_v}{s} \right) \geq 0,48$$

En la cual:

$F_v$  = esfuerzo de fluencia del acero utilizado en el espiral

$A_v$  = área de una rama de espiral

$s$  = espaciado de centro a centro de espiral

#### 4.1.7 Deflexión

Las deflexiones son un parámetro que generalmente es establecido por la empresa contratante. La norma INEN 1965 (en su numeral 4.20.3) establece los límites de las flechas permitidas en el ensayo:

“Se debe llegar hasta una carga igual al 60% de la carga nominal de rotura, y la deformación permanente no debe exceder del 5% de la flecha alcanzada en el ensayo en la fase elástica; la flecha máxima en la fase elástica no debe ser mayor al 4% de la longitud útil del poste.”

#### 4.1.8 Efecto sísmico

El poste es un elemento esbelto, con una masa relativamente pequeña, sin embargo, se debería considerar la masa cuando se coloca un transformador en la parte superior del poste, la cual puede ser considerable. En este trabajo se determina el cortante basal estático con el espectro de diseño Manabí, caracterizado dentro de la zona IV con peligro sísmico “muy alto” según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 15 (Peligro sísmico) numeral 3.1.1.



## 4.2 Metodología de diseño

### 4.2.1 Pérdidas del preesfuerzo

El cálculo de las pérdidas se puede realizar por medio de ecuaciones analíticas o por medio de tablas dadas por el PCI. (Carrasco, 2010). La pérdida total se puede aproximar de la siguiente manera:

$$\Delta f_{pt} = \Delta f_{pa} + \Delta f_R + \Delta f_{pe} + \Delta f_{cr} + \Delta f_{cf}$$

$\Delta f_{pt}$  = pérdida total de los torones en kg/cm<sup>2</sup>.

$\Delta f_{pa}$  = pérdida por corrimiento y ajuste de cuñas.

$\Delta f_R$  = pérdida por relajación del acero de preesfuerzo.

$\Delta f_{pe}$  = pérdida por el acortamiento elástico del hormigón.

$\Delta f_{cr}$  = pérdida por la retracción del hormigón.

$\Delta f_{cf}$  = pérdida por fluencia plástica del hormigón

Cada una de las pérdidas ha sido ampliamente explicada por varios autores (Carrasco, 2010), no es objetivo de este trabajo hablar a profundidad sobre estas. Se describen las ecuaciones utilizadas y los criterios asumidos para el caso de estudio.

#### Pérdida por acortamiento elástico del hormigón ( $\Delta f_{pa}$ )

Para calcular el esfuerzo del hormigón se toma la excentricidad del cable ubicado en el último nivel de cada una de las secciones.

$$\Delta f_{pe} = n f_{cp}$$

En la que:

$n$  = relación entre los módulos elásticos del acero y hormigón.

$f_{cp}$  = esfuerzo en el hormigón a la altura de la excentricidad del cable.

$$f_{cp} = -\frac{P_i}{A_c}$$

En la que:

$P_i$  = fuerza de pretensado inicial, antes de las pérdidas.

$A_c$  = área de la sección de hormigón.



### Pérdida por corrimiento y ajuste de cuñas ( $\Delta f_{pa}$ )

La pérdida por corrimiento de cuñas se estima dando un valor aproximado del posible corrimiento en cm de las cuñas. Se asume un corrimiento de 6,5 mm de acuerdo a los rangos recomendados (Carrasco, 2010).

$$\Delta f_{pa} = \varepsilon E_p$$

En la que:

$\varepsilon$  = corrimiento de las cuñas.

$E_p$  = módulo de elasticidad del acero de preesfuerzo.

### Pérdidas por la retracción del hormigón ( $\Delta f_{cr}$ )

Se asume una humedad relativa del 70%.

$$\Delta f_{cr} = 8.2 \times 10^{-6} E_p \left( 1 - 0.0236 \frac{V}{S} \right) (100 - HR)$$

En la que:

$\frac{V}{S}$  = relación volumen-superficie del elemento.

HR = humedad relativa.

### Pérdida por fluencia plástica del hormigón ( $\Delta f_{cf}$ )

$$\Delta f_{cf} = C_t \frac{E_p}{E_c} f_{cp}$$

En la que:

$C_t$  = coeficiente de deformación plástica.

$$C_t = \frac{t^{0.6}}{10 + t^{0.6}} C_u$$

En la que:

$C_u = \frac{\varepsilon_{fp}}{\varepsilon_e}$  relación entre las deformaciones unitarias por flujo plástico y la elástica instantánea, asumido generalmente por 2,35.



**Pérdida por relajación del acero de preesfuerzo ( $\Delta f_R$ )**

$$\Delta f_R = f_{pi} \left( \frac{\log t}{45} \right) \left( \frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0.55 \right)$$

Adicionalmente el PCI da unas tablas ANEXO 3, con las que se puede estimar las pérdidas correspondientes a retracción y flujo plástico del hormigón.

**4.2.2 Etapas del pretensado**

**4.2.2.1 Comportamiento al momento de tensar y cortar los cables:**

El (REF ACI 318-14 20.3.2.5) esfuerzo a tracción en aceros de preesfuerzo no debe exceder:

Etapa	Ubicación	Esfuerzo máximo a tracción
Durante el tensionamiento	En el extremo del gato	Menor de:
		0,94 fpy 0,8 fpu Máxima fuerza en el gato recomendada por el fabricante.
Inmediatamente después de transferencia	En los anclajes y conectores de postensado	0,7 fpu

Tabla 8: Límites en los esfuerzos al tensar los cables.

El ACI (ACI 318 Committee, 2014) en su numeral 24.5.3.1 limita los esfuerzos a compresión y tracción en el concreto después de la aplicación del preesfuerzo, antes de las pérdidas de preesforzado que dependen del tiempo, no se deben exceder los límites de la Tabla 9.

Ubicación	Límite para los esfuerzos a compresión
En los extremos de miembros simplemente apoyados	0,7 f'ci
En otras ubicaciones	0,6 f'ci
Ubicación	Límite para los esfuerzos a tracción
En los extremos de miembros simplemente apoyados	1,6√f'ci
En otras ubicaciones	0,8√f'ci

Tabla 9: Límites para los esfuerzo a compresión y tracción

En el caso de superar estos límites el ACI en su numeral 24.5.3.2.1 permite colocar acero de refuerzo adicional para resistir la fuerza total de tracción en el concreto, calculada con la suposición de sección no fisurada.



Usando toda la sección transformada del hormigón, es decir la sección no fisurada en estado elástico, los esfuerzos en la fibra superior e inferior vienen dadas por:

$$f^t = -\frac{P_i}{A_c} - \frac{M_D}{S^t}$$

$$f_b = -\frac{P_i}{A_c} + \frac{M_D}{S_b}$$

En la que:

$f^t$  = esfuerzo en la fibra superior.

$f_b$  = esfuerzo en la fibra inferior.

$P_i$  = fuerza de pretensado inicial, antes de las pérdidas.

$A_c$  = área de la sección de hormigón.

$M_D$  = momento flector máximo debido al peso propio.

$S^t$  = módulo resistente de la sección, respecto a la fibra superior =  $I/C_t$ .

$S_b$  = módulo resistente de la sección, respecto a la fibra inferior =  $I/C_b$ .

$C_t$  = distancia desde la línea neutra hasta la fibra extrema superior.

$C_b$  = distancia desde la línea neutra hasta la fibra extrema inferior.

#### 4.2.2.2 Comportamiento en el transporte e izado:

Al considerar que el poste de hormigón pretensado va a tener que soportar cargas por peso propio e impacto, se considera en este estudio, al no encontrar otro dato en referencia alguna, el máximo factor de impacto que determina la norma AASHTO para puentes de 1,33 (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2015). Durante su transporte, se analiza la sección con dos puntos de sujeción. Se valida la sección para cualquier ubicación de los puntos de apoyo. Mientras que para el izado se considera un solo punto de apoyo.

Los límites de los esfuerzos permitidos son los mismos dados por el ACI en la sección 4.2.1.1.

En el transporte se considera la sección de mayor momento debido al peso propio multiplicado por el factor de impacto, con dos simples apoyos en los extremos.

$$f^t = -\frac{P_i}{A_c} - \frac{1.33 M_D}{S^t}$$

$$f_b = -\frac{P_i}{A_c} + \frac{1.33 M_D}{S^t}$$



Si los puntos de apoyo varían en el transporte se considera el momento generado por el voladizo, y se verifica cumplan todos los requerimientos del ACI (Sección 4.2.1.1)

#### 4.2.3 Diseño por última resistencia.

Se realiza las siguientes consideraciones:

Secciones planas continúan siendo planas.

El acero y el hormigón tienen una adherencia perfecta.

El acero y el hormigón se consideran en el rango elástico respectivamente.

El esfuerzo de hormigón en la rotura es  $0,85f'_c$ .

Es esfuerzo de tracción del hormigón no es considerada.

La deformación unitaria última en el hormigón es 0,003.

Las condiciones de compatibilidad y equilibrio son conocidas.

#### Equilibrio de la sección:

Basados en las consideraciones anteriores y las provisiones dadas por el ACI (ACI 318 Committee, 2014), se asume una distribución rectangular de esfuerzos de compresión en el concreto y es representada por una fuerza concentrada estáticamente equivalente que está definida por la resistencia  $f'_c$ .

El equilibrio de la sección requiere igualar las fuerzas de compresión y tracción esta última dada por en el acero de pretensado, y acero dulce. La ecuación de equilibrio es la siguiente:

$$C_c = T_s$$

Siendo  $T_s$  la tensión del acero y  $C_c$  la compresión en el concreto igual a:

$$C_c = 0,85 f'_c \beta_1 A_a$$

En la que:

$f'_c$  = Esfuerzo ultimo del concreto.

$\beta_1$  = Igual a 0,85 para valores de  $f'_c$  de hasta 280 kg/cm<sup>2</sup>. Para valores superiores de  $f'_c$ , se disminuye su valor en 0,05 por cada 70 kg/cm<sup>2</sup>, con un límite de 0,65.

$A_a$  = Área de concreto en compresión definida por el bloque rectangular con una profundidad  $\beta_1 \cdot C$ .



$$T_s = \sum_{i=1}^n A_{psi} f_{sei} + \sum_{j=1}^n A_{sj} f_{sj}$$

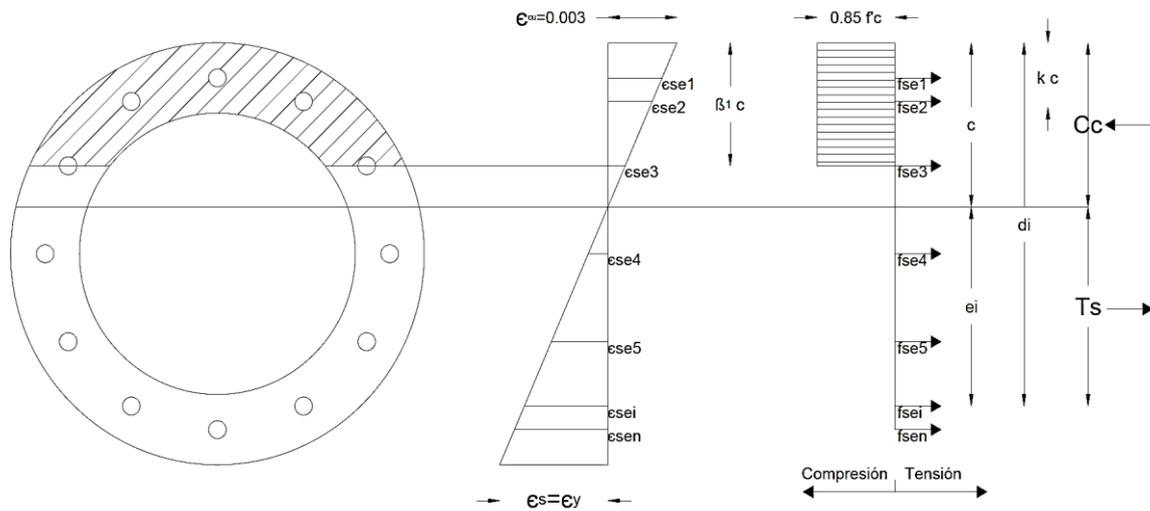


Figura 1: Distribución de esfuerzos en la sección del poste.

En donde  $A_{psi}$  y  $f_{sei}$  son el área y esfuerzo del  $i$ -ésimo torón, mientras que  $A_{sj}$  y  $f_{sj}$  son el área y esfuerzo del  $j$ -ésima barra de acero de refuerzo pasivo. Para obtener la localización del eje neutro, se realiza un ensayo de prueba y error, por tanteos, hasta lograr el equilibrio de las distintas fuerzas, de tracción y compresión el cual de equilibrio entre la tracción y la compresión.

En el cálculo del  $f_{sei}$ , se usa la deformación unitaria del torón, dividida en:

- A. Deformación del torón debida al preesfuerzo efectivo.

$$\varepsilon_{se} = \frac{\text{Preesfuerzo efectivo del torón}}{\text{Área del torón} \cdot \text{Módulo de elasticidad del torón}}$$

- B. Deformación del concreto debido al efecto de preesfuerzo.

$$\varepsilon_{ce} = \frac{\text{Preesfuerzo efectivo total de los torones}}{\text{Área total del concreto} \cdot \text{Módulo de elasticidad del concreto}}$$

- C. Deformación del torón debido a la flexión.

$$\varepsilon_{sb} = \frac{\varepsilon_u (d - c)}{c}$$

En la que:

$\varepsilon_u$  = deformación última del concreto, igual a 0,003.



$d$ = distancia entre el extremo en compresión y el torón en centímetros.

$c$ = localización del eje neutro en centímetros.

La cantidad es positiva en la zona de tracción y negativa en la zona a compresión. La deformación unitaria de cada torón se expresa como sigue:

$$\varepsilon_{su} = \varepsilon_{se} + \varepsilon_{ce} + \varepsilon_{sb}$$

El esfuerzo  $f_{sei}$  del  $i$ -ésimo torón viene dado por:

$$f_{sei} = \varepsilon_{sui} \cdot \text{Módulo de elasticidad del torón}$$

### Cálculo del Momento Ultimo

El momento último de la sección viene dado por la suma de los momentos de tensión y compresión, dados por las fuerzas con respecto al eje neutro.

$$\phi Mn = \sum_{i=1}^n e_i A_{psi} f_{sei} + \sum_{j=1}^n e_j A_{sj} f_{sj} + c \cdot Cc(1 - K)$$

En la que:

$e_i$ =es la distancia del  $i$ -ésimo torón al eje neutro

$e_j$ = es la distancia del  $j$ -ésimo barra de refuerzo pasivo al eje neutro

$A_{psi}$ ,  $A_{sj}$ = Área del refuerzo preesforzado y pasivo en  $\text{cm}^2$

$f_{sei}$ ,  $f_{sj}$ = Esfuerzo del refuerzo preesforzado y pasivo en  $\text{kg/cm}^2$

$c(1-K)$  = Es la distancia del centroide del área reducida a compresión desde el eje neutro

$Cc$  = Compresión en el concreto

#### 4.2.4 Fisuración y ancho de grietas

Con el objetivo de obtener diseños más económicos, se permite que las secciones se fisuren bajo cargas de trabajo, ajustándolos a el límite admisible dado por la norma INEN 1965. Se estima el ancho de las grietas con el método dado por (Nawy, 2009) sección 7.13.3.



$$w'_{max} = 5.85 \times 10^{-5} R_i \frac{A_t}{\sum o} (\Delta f_s)$$

En la que:

$w'_{max}$  = ancho máximo en la cara a tracción del hormigón

$R_i$  = relación entre la distancia del eje neutro hasta el extremo en la cara a tracción y la distancia entre el eje neutro y el centro de gravedad del acero de refuerzo

$A_t$  = área medida desde el extremo en tracción hasta dos veces el centro de gravedad de los aceros

$\sum o$  = sumatoria de los perímetros de los aceros de refuerzo

$\Delta f_s$  = esfuerzo neto entre el momento de servicio y el momento de fisuración

#### 4.2.5 Cuantía mínima y máxima

Se debe asegurar una cantidad mínima de acero en la sección para evitar una falla frágil. Esto se logra verificando la condición  $\phi M_n \geq 1.2 M_{cr}$ , dada de manera general para estructuras que regula el ACI, ya que no se dispone de normas precisas en este sentido para postes; donde  $M_{cr}$  corresponde al momento de fisuración de la sección. De esta forma se garantiza que la sección va a tener una deformación notoria antes de acercarse a su límite de resistencia. La expresión para el momento de fisuración es la siguiente (Nawy, 2009):

$$M_{cr} = \left[ f_r + \frac{P_e}{A_c} \right] S_b$$

En la que:

$f_r$  = módulo de ruptura del hormigón dado por  $2\sqrt{f'_c}$ .

$P_e$  = fuerza efectiva del pretensado (después de las pérdidas).

$A_c$  = área de la sección transversal.

$S_b$  = módulo resistente de la sección con respecto a la fibra inferior.

De la misma forma se debe definir la cantidad máxima de acero para evitar una falla frágil, esto debido a que al estar sobre-reforzada la sección fallaría por compresión del hormigón sin que el acero llegue a fluir. El (ACI 318 Committee, 2014) en la Tabla 21.2.2 establece que la sección es controlada por tracción cuando la deformación neta en el extremo del acero longitudinal a tracción  $\epsilon_t$  es mayor a 0,005, condición que también se verifica en este diseño.



#### 4.2.6 Cortante y Torsión

##### Cortante:

El diseño a cortante se basa en:

$$V_u \leq \phi V_n$$

En la que:

$V_u$  = Cortante último en la sección considerada.

$\phi$  = Factor de reducción del cortante nominal, igual a 0,85.

$V_n = V_c + V_s$  (Cortante nominal).

$V_c$  = Cortante nominal del concreto.

$V_s$  = Cortante nominal dado por el refuerzo a cortante.

##### Poste pretensado sección H

La fuerza cortante resistente (en Kilogramos y centímetros) para el hormigón preesforzado, con fuerza efectiva no menor al 40 % de la resistencia a la tracción del refuerzo a flexión es:

$$V_c = \left( 0.16 \lambda \sqrt{f'_c} + 49 \frac{V_u d_p}{M_u} \right) (b_w d)$$

En la que:

$b_w$  = Ancho del alma.

$d$  = Altura medida desde el centroide del acero preesforzado o desde el acero no preesforzado, a la fibra extrema en compresión o 0.8 veces el diámetro externo de la sección, el que sea mayor.

Sujeta a las siguientes condiciones:

$$0.53 \lambda \sqrt{f'_c} \leq V_c \leq 1.33 \lambda \sqrt{f'_c}$$

En la que:

$\lambda$  = Factor que toma en cuenta las propiedades mecánicas del hormigón de peso liviano.  $\lambda = 1$  para hormigones de peso normal.

$\frac{V_u d_p}{M_u} \leq 1$  donde  $M_u$  ocurre simultáneamente con  $V_u$  en la sección considerada.



### Poste preesforzado de sección circular

La fuerza cortante se calcula mediante la fórmula:

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_t{}^2 + f'_t f_{pc}}}{\frac{Q}{2It}}$$

En la que:

$f'_t$  = Esfuerzo de tracción en el concreto en kg/cm<sup>2</sup>.

$f_{pc}$  = Esfuerzo efectivo de compresión debido al preesfuerzo en kg/cm<sup>2</sup>.

Q = Momento de sobre el centroide de la sección cm<sup>3</sup>.

I = Momento de inercia de la sección transversal en cm<sup>4</sup>.

t = Espesor en cm.

### Fuerza cortante contribuida por el acero de refuerzo:

La fuerza cortante  $V_s$  está dada por:

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

En la que:

$A_v$  = Área de refuerzo a cortante.

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia en el acero pasivo.

d = Es la distancia desde el extremo de la fibra a compresión al centroide del acero de preesfuerzo, o 0,8 veces el diámetro externo de la sección, el que sea mayor.

### Torsión:

El diseño de torsión se basa en:

$$T_u \leq \phi T_c$$

En la que:

$T_u$  = Fuerza torsional factorizada.

$\phi$  = Factor de reducción para torsión igual a 0,75

$T_c$  = Resistencia torsional del miembro de concreto.



### Poste pretensado sección H

Se usa la siguiente fórmula dada por el ACI-14, tabla 22.7.4.1 (a)(b) para el umbral de torsión.

$$T_{th} < 0.27 \lambda \sqrt{f'c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{\lambda f'c}}$$

En la que:

$A_{cp}$  = área encerrada por el perímetro exterior de la sección transversal de hormigón.

$P_{cp}$  = perímetro exterior de la sección de hormigón.

$\lambda$  = factor de modificación, para hormigones de peso normal toma un valor de 1.

$f_{pc}$  = Esfuerzo efectivo de compresión debido al preesfuerzo en kg/cm<sup>2</sup>.

### Poste preesforzado de sección circular

Se usa la siguiente fórmula dada por el ACI-14, tabla 22.7.4.1(b) (b) para el umbral de torsión.

$$T_{th} < 0.27 \lambda \sqrt{f'c} \left( \frac{A_g^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_{pc}}{\lambda f'c}}$$

En la que:

$A_{cp}$  = área encerrada por el perímetro exterior de la sección transversal de hormigón.

$P_{cp}$  = perímetro exterior de la sección de hormigón.

$\lambda$  = factor de modificación, para hormigones de peso normal toma un valor de 1.

$f_{pc}$  = Esfuerzo efectivo de compresión debido al preesfuerzo en kg/cm<sup>2</sup>.



#### 4.2.7 Deflexiones

Para cargas que no excedan el momento de fisuración, las deflexiones elásticas se pueden estimar utilizando el método de doble integración o ecuaciones elásticas, como se recomienda en (ASCE Task Force/PCI Committee on Concrete, 1997). Para las deflexiones inelásticas se permite utilizar las mismas ecuaciones reduciendo el producto  $EI$  en un factor de 3 (Task Committee on Concrete Pole Structures, 2012).

#### Método de la doble Integración

Se utiliza este método, considerando la variación de la inercia a lo largo de la longitud útil del poste.

$$Ey = \iint \frac{M(x)}{I(x)} dx + C_1x + C_2$$

En la que:

$E$ : Modulo Elástico del Hormigón

$I$ : Inercia en función de  $x$

$M$ : Momento en función de  $x$

$x$ : Abscisa

$y$ : Deflexión

$c_1, c_2$ : constantes de integración

#### Ecuación elástica

Para comparar y tener una idea de la deflexión, se puede utilizar la ecuación elástica para el caso de un elemento en voladizo, de sección constante.

$$Y = \frac{PL^3}{3EI}$$

En la que:

$P$ = Es la carga nominal de rotura.

$L$ = La longitud útil del poste (Longitud total menos empotramiento).

$I$ = Inercia equivalente del elemento.

Para estimar la inercia de la sección se asume un promedio de las secciones inicial (nivel de empotramiento) y punta. Esto considerando la variación lineal de la inercia.



#### 4.2.8 Efecto sísmico

Este análisis solo se realiza para los postes circulares 10 y 12 m, con el método de cargas estáticas equivalentes dado en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC -15). Los postes tipo H no llevan transformadores.

##### 4.2.8.1 Cortante Basal

El cortante basal de diseño se determina mediante:

$$V = \frac{I \cdot S_a(T_a)}{R \cdot \phi_P \cdot \phi_E} \cdot W$$

En la que:

$S_a(T_a)$ : Espectro de diseño en aceleración.

$\phi_P$  y  $\phi_E$ : Coeficientes de configuración en planta y elevación.

$I$ : Coeficiente de importancia.

$R$ : Factor de reducción de resistencia sísmica.

$V$ : Cortante basal total de diseño.

$W$ : Carga Sísmica reactiva.

$T_a$ : Periodo de vibración.

##### 4.2.8.2 Determinación del Espectro elástico de diseño en aceleraciones

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones  $S_a$ , expresado en función de la aceleración de la gravedad es función de:

- El factor de Zona sísmica  $Z$
- El tipo de suelo en el cual se implanta la estructura
- Los coeficientes de amplificación de suelo  $F_a, F_d, F_s$

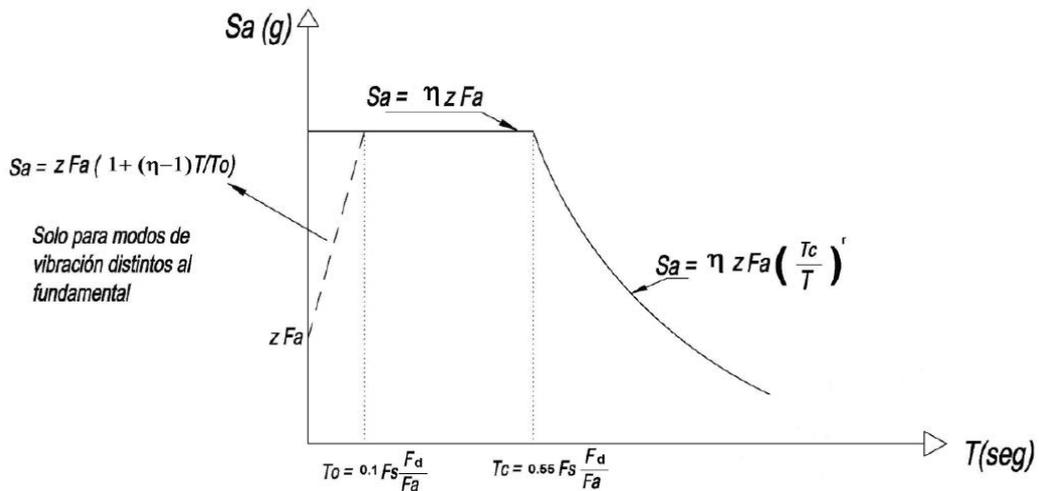


Figura 2: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

En la que:

$\eta$ : Razón entre la aceleración espectral  $S_a$  ( $T = 0,1$  s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.

$\eta = 1.80$ : Provincias de la Costa

$F_a$ : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio

$F_d$ : Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

$F_s$ : Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos

$T$ : Período fundamental de vibración de la estructura

$T_0$ : Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

$T_c$ : Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.



$$T_c = 0,55 F_s \cdot \frac{F_d}{F_a}$$

$T_c$ : Es el período límite de vibración utilizado para la definición de espectro de respuesta en desplazamientos

Z: Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

r: Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto

r = 1 para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E

r = 1,5 para tipo de suelo E.

ESPECTRO DE DISEÑO (NEC_SE_DS_15)			
DATOS DE INGRESO			Comentario
<b>Z</b>	0,5	Factor de zona sísmica.	Zona VI
<b><math>\Phi_p</math></b>	1	Factor de irregularidad en planta.	Ninguna
<b><math>\Phi_e</math></b>	1	Factor de irregularidad en elevación.	Ninguna
<b>R</b>	2	Coefficiente de reducción de respuesta estructural.	Estructuras en forma de péndulo invertido
<b>I</b>	1	Factor de importancia.	Otras estructuras
<b>Suelo</b>	D	Tipo de Perfil del Subsuelo	Dato proyecto
<b>Región</b>	1	Costa	
FACTORES DE SITIO			
<b>Fa</b>	1,12	Coef. De amplificación de suelo en la zona de periodo corto.	Zona VI, Suelo tipo D
<b>Fd</b>	1,11	Coef. De amplificación de suelo.	Zona VI, Suelo tipo D
<b>Fs</b>	1,4	Coef. De amplificación de suelo.	Zona VI, Suelo tipo D
<b><math>\eta</math></b>	1,8	Razón entre la aceleración espectral $S_a$ y el PGA.	Costa
<b>r</b>	1	Factor por ubicación geográfica.	Suelo tipo D



PERIODOS LÍMITE		
$T_0 =$	0,139	seg
$T_c =$	0,763	seg
$T_L =$	2,664	seg
$T_L \text{ máx.} =$	4,000	seg
$T_L \text{ diseño} =$	2,664	seg
$T$	0,40	seg
$S_a(T)$	0,504	g

Tabla 10: Parámetros para el espectro de diseño

Con estos parámetros se determina el espectro de diseño para la zona escogida, como se muestra en la Figura 3. Se escoge un tipo de suelo D para tener un margen de seguridad con respecto a la variabilidad y calidad de suelos en el Ecuador.

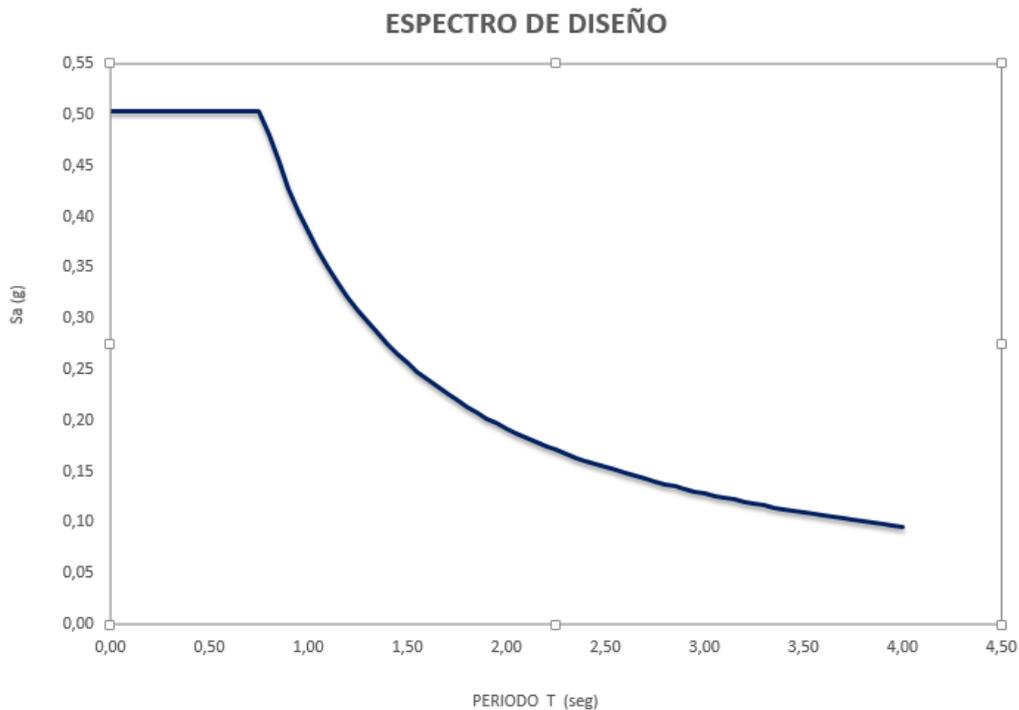


Figura 3: Espectro de diseño para los casos de estudio.



### 4.3 Resultados

#### 4.3.1 Pérdidas del preesfuerzo

Se presenta los resultados de las pérdidas para los 4 postes de estudio

#### PÉRDIDAS POSTE CIRCULAR 10 m

HORMIGON					
<i>Diferidas en el Tiempo</i>					
TABLAS PCI			ECUACIONES ANALITICAS		
RETRACCIÓN	560	Tabla A 2.1	RETRACCIÓN ÚLTIMA		
Factor humedad	1	Tabla A2.3	Ep	2000000	kg/cm2
Factor V/S	1,03	Tabla A 2.4	HR	70	%
Retracción Total	0,000577	cm/cm	V/S	3,50	cm
$\Delta f_{pe}$	1153,09	kg/cm2	$\Delta f_{pe}$	451,4	kg/cm2
FLUENCIA PLÁSTICA	315	Tabla A 2.1	FLUENCIA PLÁSTICA		
Factor esfuerzo medio h	1,685	Tabla A 2.2	Ct	2,14	
Factor humedad	1	Tabla A 2.3	Ep	2000000	kg/cm2
Factor V/S	1,012	Tabla A 2.4	Ec	302000	kg/cm2
Fluencia plástica total	0,000537	cm/cm	fcp	78,88	kg/cm2
$\Delta f_{cf}$	1074,34	kg/cm2	$\Delta f_{cf}$	1116,988	kg/cm2
<i>Instantáneas</i>					
DEFORMACIÓN ELÁSTICA					
ni	7,08	kg/cm2			
fcp	78,88	kg/cm2			
$\Delta f_{pe}$	558,45	kg/cm2			
<i>Pérdida Total en el Hormigón</i>					
<b>Pérdida Total</b>	2785,88	kg/cm2	<b>Pérdida Total</b>	2126,80	kg/cm2
ACERO					
<i>Diferidas en el Tiempo</i>			<i>Instantáneas</i>		
Relajación del Acero			Por corrimiento de cuñas		
fpi	13500	kg/cm2	Corrimiento	6,5	mm
t	2190	días	Longitud cable entre anclajes	82	m
fpy	17120	kg/cm2			
$\Delta f_R$	337,836	kg/cm2	$\Delta f_R$	158,537	kg/cm2
<i>Pérdida Total en el Acero</i>					
<b>Pérdida Total</b>	496,372 kg/cm2				

Tabla 11: Detalle de pérdidas poste circular 10 m.



RESUMEN PÉRDIDAS POSTE CIRCULAR 10 m ( kg/cm <sup>2</sup> )							
		Tablas		Ecuaciones		Promedio	
Instantáneas	Acortamiento elástico instantáneo	19%	558,45	19%	558,45	19%	558,45
	Corrimiento y ajuste de cuñas	5%	158,54	5%	158,54	5%	158,54
Diferidas en el tiempo	Retracción del hormigón	27%	1153,09	39%	451,36	15%	451,36
	Fluencia plástica del hormigón	37%	1074,34	36%	1116,99	38%	1074,34
	Relajación del acero de preesfuerzo	11%	337,84	11%	337,84	11%	337,84
<b>Total</b>		100%	3282,25		2623,17		2580,52
<b>Pérdida Total</b>			<b>24%</b>		<b>19%</b>		<b>19%</b>

Tabla 12: Resumen pérdidas poste circular 10 m

### PÉRDIDAS POSTE CIRCULAR 12 m

HORMIGON							
<i>Diferidas en el Tiempo</i>							
TABLAS PCI				ECUACIONES ANALITICAS			
RETRACCIÓN	560	Tabla A 2.1		RETRACCIÓN ÚLTIMA			
Factor humedad	1	Tabla A2.3		Ep	2000000	kg/cm <sup>2</sup>	
Factor V/S	1,03	Tabla A 2.4		HR	70	%	
Retracción Total	0,000577	cm/cm		V/S	3,50	cm	
$\Delta f_{pe}$	1153,09	kg/cm <sup>2</sup>		$\Delta f_{pe}$	451,4	kg/cm <sup>2</sup>	
FLUENCIA PLÁSTICA	315	Tabla A 2.1		FLUENCIA PLÁSTICA			
Factor esfuerzo medio h	1,482	Tabla A 2.2		Ct	2,14		
Factor humedad	1	Tabla A 2.3		Ep	2000000	kg/cm <sup>2</sup>	
Factor V/S	1,012	Tabla A 2.4		Ec	302000	kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Fluencia plástica total</b>	<b>0,00047</b>	<b>cm/cm</b>		f <sub>cp</sub>	26,62	kg/cm <sup>2</sup>	
$\Delta f_{cf}$	<b>945,32</b>	kg/cm <sup>2</sup>		$\Delta f_{cf}$	<b>376,89</b>	kg/cm <sup>2</sup>	

#### *Instantáneas*



DEFORMACIÓN ELÁSTICA

ni	7,08	kg/cm <sup>2</sup>
fcp	26,62	kg/cm <sup>2</sup>
Δfpe	188,43	kg/cm <sup>2</sup>

**Pérdida Total en el Hormigón**

<b>Pérdida Total</b>	2286,84	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Pérdida Total</b>	1016,6	kg/cm <sup>2</sup>
----------------------	---------	--------------------	----------------------	--------	--------------------

**ACERO**

<i>Diferidas en el Tiempo</i>			<i>Instantáneas</i>		
Relajación del Acero			Por corrimiento de cuñas		
fpi	13500	kg/cm <sup>2</sup>	Corrimiento	6,5	mm
t	2190	días	Longitud cable entre anclajes	82	m
fpy	17120	kg/cm <sup>2</sup>	ΔfR	158,53	kg/cm <sup>2</sup>
ΔfR	337,83	kg/cm <sup>2</sup>			

**Pérdida Total en el Acero**

<b>Pérdida Total</b>	496,372 kg/cm <sup>2</sup>				
----------------------	----------------------------	--	--	--	--

Tabla 13: Detalle de pérdidas poste circular 12 m

**RESUMEN PÉRDIDAS POSTE CIRCULAR 12 m ( kg/cm<sup>2</sup>)**

		Tablas		Ecuaciones		Promedio	
<b>Instantáneas</b>	Acortamiento elástico instantáneo	16%	428,53	16%	428,53	16%	428,53
	Corrimiento y ajuste de cuñas	6%	158,54	6%	158,54	6%	158,54
<b>Diferidas en el tiempo</b>	Retracción del hormigón	31%	1153,09	44%	451,36	17%	451,36
	Fluencia plástica del hormigón	34%	945,32	36%	857,14	33%	945,32
	Relajación del acero de preesfuerzo	13%	337,84	13%	337,84	13%	337,84
<b>Total</b>		100%	3023,32		2233,40		2321,59
<b>Pérdida Total</b>			<b>22%</b>		<b>17%</b>		<b>17%</b>

Tabla 14: Resumen pérdidas poste circular 12 m



## PÉRDIDAS POSTE TIPO H 20 m

<b>HORMIGON</b>					
<i>Diferidas en el Tiempo</i>					
<b>TABLAS PCI</b>			<b>ECUACIONES ANALITICAS</b>		
<b>RETRACCIÓN</b>			<b>RETRACCIÓN ÚLTIMA</b>		
Factor humedad	560	Tabla 2.1	Ep	2000000	kg/cm <sup>2</sup>
Factor V/S	1	Tabla 2.3	HR	70	%
Retracción Total	0,90	Tabla 2.4	V/S	5,92	cm
$\Delta f_{pe}$	0,000502	cm/cm	$\Delta f_{pe}$	423,2	kg/cm <sup>2</sup>
<b>FLUENCIA PLÁSTICA</b>	1004,33	kg/cm <sup>2</sup>	<b>FLUENCIA PLÁSTICA</b>		
Factor esfuerzo medio h	315	Tabla 2.1	Ct	2,14	
Factor humedad	1,388	Tabla 2.2	Ep	2000000	kg/cm <sup>2</sup>
Factor V/S	1	Tabla 2.3	Ec	302000	kg/cm <sup>2</sup>
Fluencia plástica total	0,917	Tabla 2.4	fcp	77,49	kg/cm <sup>2</sup>
$\Delta f_{cf}$	0,000401	cm/cm	$\Delta f_{cf}$	1097,34	kg/cm <sup>2</sup>
	801,85	kg/cm <sup>2</sup>			
<b>Instantáneas</b>					
<b>DEFORMACIÓN ELÁSTICA</b>					
ni	7,08	kg/cm <sup>2</sup>			
fcp	77,49	kg/cm <sup>2</sup>			
$\Delta f_{pe}$	548,63	kg/cm <sup>2</sup>			
<b>Pérdida Total en el Hormigón</b>					
<b>Pérdida Total</b>	2354,80	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Pérdida Total</b>	2069,19	kg/cm <sup>2</sup>
<b>ACERO</b>					
<i>Diferidas en el Tiempo</i>			<i>Instantáneas</i>		
Relajación del Acero			Por corrimiento de cuñas		
fpi	14000	kg/cm <sup>2</sup>	Corrimiento	6,5	mm
t	2190	días	Longitud cable entre anclajes	82	m
fpy	17120	kg/cm <sup>2</sup>	$\Delta f_R$	158,53	kg/cm <sup>2</sup>
$\Delta f_R$	393,24	kg/cm <sup>2</sup>			
<b>Pérdida Total en el Acero</b>					
<b>Pérdida Total</b>	551,777 kg/cm <sup>2</sup>				

Tabla 15: Detalle de pérdidas poste tipo H 20 m



RESUMEN PÉRDIDAS POSTE TIPO H 20 m ( kg/cm <sup>2</sup> )							
		Tablas		Ecuaciones		Promedio	
<b>Instantáneas</b>	Acortamiento elástico instantáneo	19%	548,63	19%	548,63	19%	548,63
	Corrimiento y ajuste de cuñas	5%	158,54	5%	158,54	5%	158,54
<b>Diferidas en el tiempo</b>	Retracción del hormigón	24%	1004,33	34%	423,22	14%	423,22
	Fluencia plástica del hormigón	32%	801,85	27%	1097,34	37%	801,85
	Relajación del acero de preesfuerzo	13%	393,24	13%	393,24	13%	393,24
	<b>Total</b>	<b>94%</b>	<b>2906,58</b>		<b>2620,97</b>		<b>2325,47</b>
<b>Pérdida Total</b>		<b>22%</b>		<b>19%</b>		<b>17%</b>	

Tabla 16: Resumen pérdidas poste tipo H 20 m

### PÉRDIDAS POSTE TIPO H 17 m

HORMIGON					
<i>Diferidas en el Tiempo</i>					
TABLAS PCI			ECUACIONES ANALITICAS		
RETRACCIÓN	560	Tabla 2.1	RETRACCIÓN ÚLTIMA		
Factor humedad	1	Tabla 2.3	Ep	2000000	kg/cm <sup>2</sup>
Factor V/S	0,93	Tabla 2.4	HR	70	%
Retracción Total	0,000520	cm/cm	V/S	5,12	cm
$\Delta f_{pe}$	1039,84	kg/cm <sup>2</sup>	$\Delta f_{pe}$	432,6	kg/cm <sup>2</sup>
FLUENCIA PLÁSTICA	315	Tabla 2.1	FLUENCIA PLÁSTICA		
Factor esfuerzo medio h	1,342	Tabla 2.2	Ct	2,14	
Factor humedad	1	Tabla 2.3	Ep	2000000	kg/cm <sup>2</sup>
Factor V/S	0,948	Tabla 2.4	Ec	302000	kg/cm <sup>2</sup>
Fluencia plástica total	0,000401	cm/cm	fcp	93,78	kg/cm <sup>2</sup>
$\Delta f_{cf}$	801,70	kg/cm <sup>2</sup>	$\Delta f_{cf}$	1327,93	kg/cm <sup>2</sup>
<b><i>Instantáneas</i></b>					
DEFORMACIÓN ELÁSTICA					
ni	7,08	kg/cm <sup>2</sup>			
fcp	93,78	kg/cm <sup>2</sup>			
$\Delta f_{pe}$	663,91	kg/cm <sup>2</sup>			
<b><i>Pérdida Total en el Hormigón</i></b>					
<b>Pérdida Total</b>	2505,45	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Pérdida Total</b>	2424,42	kg/cm <sup>2</sup>



ACERO						
<i>Diferidas en el Tiempo</i>			<i>Instantáneas</i>			
<b>Relajación del Acero</b>			<b>Por corrimiento de cuñas</b>			
fpi	14000	kg/cm <sup>2</sup>	Corrimiento	6,5	mm	
t	2190	días	Longitud cable entre anclajes	82	m	
fpy	17120	kg/cm <sup>2</sup>	$\Delta fR$	158,53	kg/cm <sup>2</sup>	
$\Delta fR$	393,24	kg/cm <sup>2</sup>				
<b><i>Pérdida Total en el Acero</i></b>						
<b><i>Pérdida Total</i></b>			551,777 kg/cm <sup>2</sup>			

Tabla 17: Detalle de pérdidas poste tipo H 17 m

RESUMEN PÉRDIDAS POSTE TIPO H 17 m ( kg/cm <sup>2</sup> )							
		Tablas		Ecuaciones		Promedio	
<b>Instantáneas</b>	Acortamiento elástico instantáneo	22%	654,25	22%	654,25	22%	654,25
	Corrimiento y ajuste de cuñas	5%	158,54	5%	158,54	5%	158,54
<b>Diferidas en el tiempo</b>	Retracción del hormigón	25%	1040,53	35%	432,75	15%	432,75
	Fluencia plástica del hormigón	36%	806,91	27%	1308,61	44%	806,91
	Relajación del acero de preesfuerzo	13%	393,24	13%	393,24	13%	393,24
<b>Total</b>		102%	3053,47		2947,40		2445,69
<b><i>Pérdida Total</i></b>			<b>23%</b>		<b>22%</b>		<b>18%</b>

Tabla 18: Resumen pérdidas poste tipo H 20 m

Los valores de pérdidas obtenidos en todos los postes están en el rango esperado de 15-25 % como establece (Task Committee on Concrete Pole Structures, 2012). Para los postes de menor longitud se obtienen valores menores de pérdidas.



### 4.3.2 Resultados postes sección circular

#### Datos del Poste circular 10 m

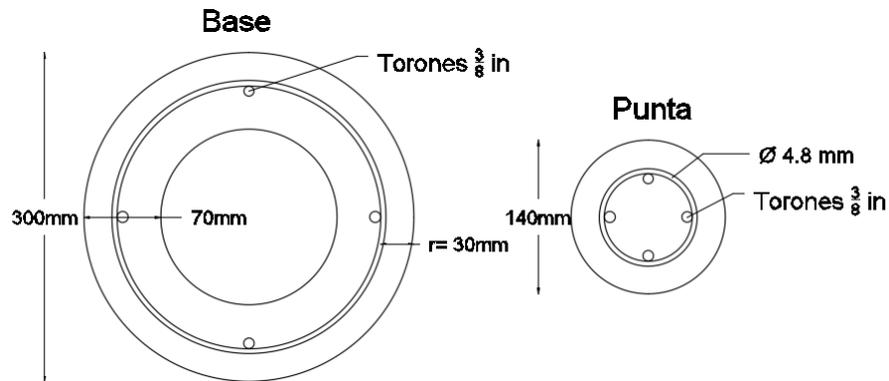


Figura 4: Secciones inicial y final poste circular 10 m

Longitud total	L	10	m
Diámetro punta	Ds	140	mm
Espesor punta	Ts	60	mm
Diámetro base	DI	300	mm
Espesor base	TI	60	mm
Peso orientativo		723,6	kg

#### Longitud de empotramiento:

$$L_1 = \frac{L}{10} + 50 \text{ cm} = \frac{10m}{10} + 0,5m = 1,5 \text{ m}$$

#### Localización de la sección Crítica y datos de la sección:

La sección donde se producirán los mayores esfuerzos es donde termina la longitud de empotramiento, aquí se calculan las propiedades de la sección:

Área	A	407,15	cm <sup>2</sup>
Inercia	I	25577,19	cm <sup>4</sup>
Modulo Resistente de la Sección	S	1853,42	cm <sup>3</sup>

#### Cargas en la Sección:

Carga de diseño	Pnru	400	kg
Momento Ultimo	Mu	3320	kg-m
Esfuerzo de pretensado	fpi	13500	Kg/cm <sup>2</sup>

#### Refuerzo en la sección Crítica

	Número	Diámetro		Área				
Cables de preesfuerzo	4	9,53	mm día. &	0,548	mm <sup>2</sup>	A total	2,19	cm <sup>2</sup>
Acero Pasivo	0	-	mm día. &	-	cm <sup>2</sup>	A total	-	cm <sup>2</sup>



**Esfuerzos en los cables:**

**Durante el tensionamiento**

Ubicación	Esfuerzo máximo a tracción				
En el extremo del gato	Menor de:	0,94 fpy	16093	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
		0,8 fpu	15200	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
		Máxima fuerza en el gato recomendada por el fabricante.			

**Perdidas**

Pi	29592	kg
Perdidas	19	%
Pe	2369,52	kg

**Etapa 1: Al Cortar los cables**

Al momento de cortar los cables se calcula la sección crítica a momento debido al momento generado por el peso propio del elemento, considerando simples apoyos en los extremos del elemento. En secciones donde no se cumple los requerimientos del ACI, se considera el aporte del acero pasivo.

Resistencia Del Hormigón al cortar los cables	fci	300	kg/cm <sup>2</sup>
Momento Por Peso Propio	M	91097,72	kg-cm
Punto Momento Máximo	x	4,59	m

**Sección Crítica a Momento a la distancia x:**

Diámetro	Dx	226,53	mm
Espesor	T	60	mm
Área	A	313,90	cm <sup>2</sup>
Centro de la sección	c	11,32	cm
Inercia	I	12294,72	cm <sup>4</sup>

ACI							
Esfuerzo máx. compresión, centro	ftc	-178,19	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	180,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
Esfuerzo máx. tracción, centro	ftc	-10,34	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	13,86	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
Esfuerzo máx. compresión, extremos	fte	-196,24	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	210,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
Esfuerzo máx. tracción, extremos	fbe	-94,27	kg/cm <sup>2</sup>	1,6 raíz(fci)	27,71	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>



## Etapa 2: Transporte e Izado

### Factor de impacto asumido: 1,33

Para el transporte se considera dos posibles escenarios, el primero, se considera la sección simplemente apoyada en los extremos, el segundo dos puntos de apoyo a 2 y 8 metros, puntos en los cuales se calcula el momento debido al peso propio y ambos multiplicados por el factor de impacto.

Sección a 2 m			Sección a 8 m		
Dx	268	mm	Dx	172	mm
T	60	mm	T	60	mm
A	392,07	cm <sup>2</sup>	A	211,11	cm <sup>2</sup>
c	13,40	cm	c	8,60	cm
I	22968	cm <sup>4</sup>	I	4260	cm <sup>4</sup>

### Simplemente apoyado:

Esfuerzo max compresión, centro	ftc	-205,89	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	240	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE
Esfuerzo max tracción, centro	fbc	14,80	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	16	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE
Esfuerzo max compresión, extremos	fte	-196,24	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	280	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE

### Sección a 2 m:

Esfuerzo max compresión, centro	ftc	-83,23	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	180,00	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE
Esfuerzo max tracción, centro	fbc	-39,04	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	13,86	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE
Esfuerzo max compresión, extremos	fte	-61,14	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	210,00	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE

### Sección a 8 m:

Esfuerzo max compresión, centro	ftc	-137,87	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	180,00	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE
Esfuerzo max tracción, centro	fbc	-89,21	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	13,86	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE
Esfuerzo max compresión, extremos	fte	-113,54	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	210,00	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE



**Izado:**

Se considera un solo punto en el izaje y se verifica el cortante:

Propiedades de la sección en el izaje		
Dx	204	mm
t	60	mm
Área	271,43	cm <sup>2</sup>
I	8257,01	cm <sup>4</sup>
Verificación en el izaje		
Punto de izaje	6	m
Vu	962,38	kg
Vc	3526,01	kg
Vc min	2877,20	kg
Vc máx.	7220,13	kg
f't	22,00	kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>pc</sub>	88,31	kg/cm <sup>2</sup>
Q	1384,31	cm <sup>3</sup>
I	8257,01	cm <sup>4</sup>
t	6,0	cm

**Diseño a Última resistencia:**

Se comprueba la flexión en la sección crítica:

Eje neutro	c	8,22	cm
Coeficiente	B1	0,75	
Área a compresión	Área	99,26	cm <sup>2</sup>
Centro de área a compresión	y	10,18	cm

Nivel	#	d (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Ese	Ece	Esb	Et	Esf (kg/cm <sup>2</sup> )	F (kg)	e(cm)	M (kg-cm)
1	1	3,5	0,548	0,00547	0,00019	-0,00172	0,00394	7879,2	4317,78	-4,72	-20386,351
2	2	13,8	1,096	0,00547	0,00019	0,00204	0,00770	15396,0	16874,06	5,58	94132,125
3	1	24,1	0,548	0,00547	0,00019	0,00579	0,01146	22912,9	12556,28	15,88	199375,09

Nivel: nivel de ubicación de los cables de pretensado o acero pasivo.

#: cantidad de cables o barras de acero pasivo.

d: distancia a cada nivel.

A: Área en cada nivel.

Esf: Esfuerzo en los cables o acero pasivo correspondientes a cada nivel.

F: Fuerza en los cables o acero pasivo.

e: excentricidad.

M: Momento.



Fuerza de compresión	Cc	33748,127	kg		
Centro área a compresión	Kc	3,62	cm		
Fuerza tracción	Ts	33748,13	kg		
Momento resistente	$\Theta Mn$	385488,85	kg-cm	<b>385,49</b>	Tn-cm
Momento ultimo	<b>Mu</b>	332000	kg-cm	<b>332,00</b>	Tn-cm

## REQUISITOS DE CUANTIA

### Cuantía mínima:

Sección Crítica			
<b>CUANTIA MINIMA</b> ( $\Theta Mn > 1,2Mcr$ )	Mcr	145737,9	kg-cm
	$\Theta Mn$	385488,8	kg-cm
	$\Theta Mn/Mcr$	2,65	<b>CUMPLE</b>

### Cuantía máxima:

La deformación neta en el extremo del acero longitudinal a tracción  $\epsilon_t$  debe ser mayor a 0,005.

NIVEL	Esb	
1	-0,00172	<b>COMPRESION</b>
2	0,00204	<b>COMPRESION</b>
3	0,00579	<b>TRACCION</b>

### Momento de Fisuración:

Carga de servicio	200	kgf	
Momento de servicio	166,00	Ton-cm	
Momento de fisuración	145,74	Ton-cm	
Momento para fisuras	20,26	Ton-cm	
Fisuras admisibles	0,20	mm	
Ancho de fisuras	0,03	mm	<b>CUMPLE</b>

### Cortante:

Vu	400	kg	<b>CUMPLE</b>
Vc	4608,28	kg	
Vc min	4315,79	kg	
Vc max	10830,20	kg	
f't	22,00	kg/cm <sup>2</sup>	
fpc	58,87	kg/cm <sup>2</sup>	
Q	2809,34	cm <sup>3</sup>	
I	25577,19	cm <sup>4</sup>	
t	6,0	cm	
fc	400	kg/cm <sup>2</sup>	

**Refuerzo transversal:**

Se coloca el mínimo establecido en la norma, el detalle se indica en el ANEXO 2.

**Torsión:**

Área externa de la sección	Acp	407,15	cm <sup>2</sup>
Perímetro externo de la sección	Pcp	86,71	cm
Torsión nominal	fpe	58,87	kg/cm <sup>2</sup>
Umbral de torsión	Tth	205,02	kg-m
Torsión nominal	Tn	820,07	kg-m

**Deflexiones:**

Para cargas de servicio se tiene:

$$M = (830\text{cm} - x) \cdot 200\text{kg}$$

$$I = (0,0269x^2 - 58,362x + 33536) \cdot 0,6687$$

$$C_1 = 94863,5$$

$$C_2 = -3,79102 \text{ E}^8$$

$$y(8,5\text{m}) = 9,71 \text{ cm}$$

Flecha máxima permitida 4% longitud útil del poste = 34 cm

Con la finalidad de aproximar la deflexión inelástica, se utiliza la recomendación del PCI, el cual da un coeficiente de reducción para el producto de  $E_c I_c / 3$ , para secciones agrietadas.

$$M = (830\text{cm} - x) \cdot 400\text{kg}$$

$$I = (0,0269x^2 - 58,362x + 33536) / 3$$

$$C_1 = 363661$$

$$C_2 = -1,73349 \text{ E}^9$$

$$y(8,5\text{m}) = 39,1 \text{ cm}$$

**Efecto sísmico**

La masa considerada es igual a la masa del transformador (378 kg) más la masa de 1/3 la longitud útil del poste medido de la parte superior. La inercia equivalente es el promedio entre las inercias a la altura del empotramiento y a la altura del transformador.

PERIODO NATURAL		
Inercia equivalente	14302,78	cm <sup>4</sup>
Modulo elástico	302000	kg/cm <sup>2</sup>
Longitud	6,50	m
Masa total	0,51	kg*sg <sup>2</sup> /cm
Rigidez	188,74	kg/cm



Periodo	0,326	seg
Peso transformador	378	kg
Peso 1/3 poste	120,56	kg

Tabla 19: Periodo natural poste circular 10 m

CORTANTE BASAL		
$\Phi_p$	1	Coficiente configuración planta
$\Phi_e$	1	Coficiente configuración elevación
I	1	Coficiente importancia
R	2	Factor de reducción de resistencia sísmica
W (kg)	498,56	Carga sísmica reactiva = DL
Ta	0,33	Periodo de vibración
Sa (Ta)	1,01	Espectro de diseño en aceleración
V (Kg)	251,27	Cortante basal total de diseño

Tabla 20: Cortante basal para poste circular 10 m

Se obtiene un cortante de 251,27 kg que va actuar a 2 metros de la punta (6,5 m desde la sección crítica). Este incremento de momento 163,3 Ton- cm se suma al momento de cargas de servicio. Obteniendo un nuevo momento de diseño de 329,32 Ton-cm. Con respecto al momento nominal se tiene un factor de seguridad de 1,17, con lo que se puede concluir que el poste resistirá adecuadamente un sismo de esta magnitud. El factor de seguridad establecido por la norma es de 2. Sin embargo, en la INEN 1965 no se menciona el efecto sísmico. Un estudio a profundidad de este tema está fuera del alcance de este trabajo.

**Datos del Poste circular 12 m**

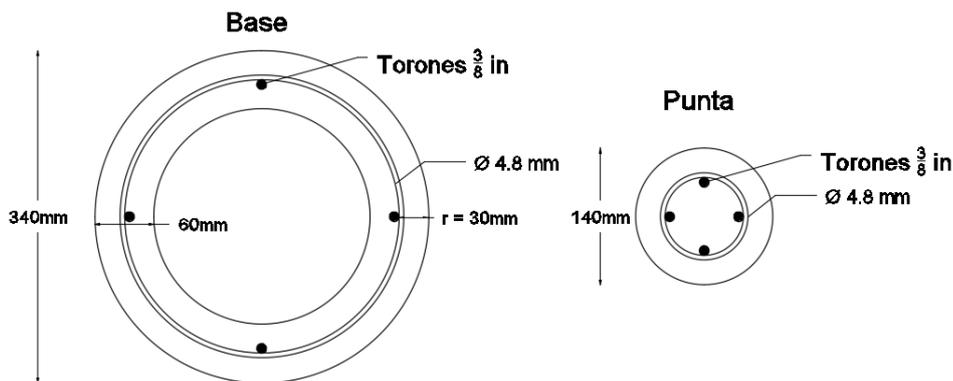


Figura 5: Sección inicial y final poste circular 12m

Longitud total	L	12	M
Diámetro punta	Ds	140	Mm
Espesor punta	Ts	60	Mm
Diámetro base	DI	340	Mm
Espesor base	TI	60	mm
Peso orientativo		796,8	kg



**Longitud de empotramiento:**

$$L_1 = \frac{L}{10} + 50 \text{ cm} = \frac{12m}{10} + 0,5m = 1,7 \text{ m}$$

**Localización de la sección Crítica y datos de la sección:**

La sección donde se producirán los mayores esfuerzos es donde termina la longitud de empotramiento, aquí se calculan las propiedades de la sección:

Área	A	474,38	cm <sup>2</sup>
Inercia	I	39691,48	cm <sup>4</sup>
Modulo Resistente de la Sección	S	2547,05	cm <sup>3</sup>

**Cargas en la Sección:**

Carga de diseño	P <sub>nru</sub>	500	kg
Momento Ultimo	M <sub>u</sub>	5050	kg-m
Esfuerzo de pretensado	f <sub>pi</sub>	13500	Kg/cm <sup>2</sup>

**Refuerzo en la sección Crítica**

	Número	Diámetro	Área					
Cables de preesfuerzo	4	9,53	mm día. &	0,548	cm <sup>2</sup>	A total	2,18	cm <sup>2</sup>
Acero Pasivo	4	8	mm día. &	0,50	cm <sup>2</sup>	A total	2,01	cm <sup>2</sup>

**Esfuerzos en los cables:**

**Durante el tensionamiento**

Ubicación	Esfuerzo máximo a tracción				
En el extremo del gato	Menor de:	0,94 f <sub>py</sub>	16093	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
		0,8 f <sub>pu</sub>	15200	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
		Máxima fuerza en el gato recomendada por el fabricante.			

**Pérdidas**

P <sub>i</sub>	29592	kg
Perdidas	17	%
P <sub>e</sub>	24561	kg



### Etapa 1: Al Cortar los cables

Al momento de cortar los cables se calcula la sección crítica a momento debido al momento generado por el peso propio del elemento, considerando simples apoyos en los extremos del elemento. En secciones donde no se cumple los requerimientos del ACI, se considera el aporte del acero pasivo.

Resistencia Del Hormigón al cortar los cables	fci	350	kg/cm <sup>2</sup>
Momento Por Peso Propio	M	147810	kg-cm
Punto Momento Máximo	x	5,46	m

### Sección Crítica a Momento a la distancia x:

Diámetro	Dx	249	mm
Espesor	T	60	mm
Área	A	356,32	cm <sup>2</sup>
Centro de la sección	c	12,45	cm
Inercia	I	17518,97	cm <sup>4</sup>

ACI							
Esfuerzo máx. compresión, centro	ftc	-188,11	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	210,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
Esfuerzo máx. tracción, centro	ftc	-21,69	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	14,97	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
Esfuerzo máx. compresión, extremos	fte	-196,24	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	245,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
Esfuerzo máx. tracción, extremos	fbe	-83,05	kg/cm <sup>2</sup>	1,6 raíz(fci)	29,93	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>

### Etapa 2: Transporte e Izado

#### Factor de impacto asumido: 1,33

Para el transporte se considera dos posibles escenarios, el primero, se considera la sección simplemente apoyada en los extremos, el segundo dos puntos de apoyo a 2 y 10 metros, puntos en los cuales se calcula el momento debido al peso propio y ambos multiplicados por el factor de impacto.

Sección a 2m			Sección a 10 m		
Dx	307	mm	Dx	173	mm
T	60	mm	T	60	mm
A	464,96	cm <sup>2</sup>	A	213,63	cm <sup>2</sup>
c	15,33	cm	c	8,67	cm
I	37455	cm <sup>4</sup>	I	4391	cm <sup>4</sup>



**Simplemente apoyado:**

Esfuerzo max compresión, centro	ftc	-222,77	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	240	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE
Esfuerzo max tracción, centro	fbc	12,97	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	16	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE
Esfuerzo max compresión, extremos	fte	-196,24	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	280	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE

**Sección a 2 m:**

Esfuerzo max compresión, centro	ftc	-71,55	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	240	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE
Esfuerzo max tracción, centro	fbc	-34,11	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	16	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE
Esfuerzo max compresión, extremos	fte	-52,83	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	280	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE

**Sección a 10 m:**

Esfuerzo max compresión, centro	ftc	-138,96	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	240	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE
Esfuerzo max tracción, centro	fbc	-90,99	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	16	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE
Esfuerzo max compresión, extremos	fte	-114,97	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	280	kg/cm <sup>2</sup>	CUMPLE

**Izado:**

Se considera un solo punto en el izaje y se verifica el cortante:

Propiedades de la sección en el izaje		
Dx	240	mm
t	60	mm
Área	339,29	cm <sup>2</sup>
I	15268,14	cm <sup>4</sup>
Verificación en el izaje		
Punto de izaje	6	m
Vu	1300	kg
Vc	4101,26	kg
Vc min	3596,50	kg
Vc máx.	9025,17	kg
f't	22,00	kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>pc</sub>	72,39	kg/cm <sup>2</sup>
Q	2035,75	cm <sup>3</sup>
I	15268,14	cm <sup>4</sup>
t	6,0	cm



**Diseño a Última resistencia:**

Se comprueba la flexión en la sección crítica:

Eje neutro	c	8,78	cm
Coficiente	B1	0,75	
Área a compresión	Área	114,84	cm <sup>2</sup>
Centro de área a compresión	y	11,76	cm

Nivel	#	d (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Ese	Ece	Esb	Et	Esf (kg/cm <sup>2</sup> )	F (kg)	e(cm)	M (kg-cm)
1	1	3,5	0,55	0,00560	0,00017	-0,00181	0,00397	7937,5	4349,75	-5,29	-23001,58
2	2	7,82	1,01	0,00560	0,00017	-0,00033	-0,00033	-660,9	-664,42	-0,97	643,18
3	2	15,59	1,10	0,00560	0,00017	0,00232	0,00810	16191,9	17746,34	6,80	120710,18
4	2	23,35	1,01	0,00560	0,00017	0,00497	0,00497	4200,0	4222,30	14,56	61485,04
5	1	27,67	0,55	0,00560	0,00017	0,00645	0,01222	24439,5	13392,85	18,88	252883,44

Nivel: nivel de ubicación de los cables de pretensado o acero pasivo.

#: cantidad de cables o barras de acero pasivo.

d: distancia a cada nivel.

A: Área en cada nivel.

Esf: Esfuerzo en los cables o acero pasivo correspondientes a cada nivel.

F: Fuerza en los cables o acero pasivo.

e: excentricidad.

M: Momento.

Fuerza de compresión	Cc	39046,815	kg		
Centro área a compresión	Kc	3,83	cm		
Fuerza tracción	Ts	<b>39046,81</b>	kg		
Momento resistente	<b>ΘMn</b>	545774,62	kg-cm	<b>545,77</b>	Tn-cm
Momento ultimo	<b>Mu</b>	505000	kg-cm	<b>505,00</b>	Tn-cm

**REQUISITOS DE CUANTIA**

**Cuantía mínima:**

Sección Crítica			
<b>CUANTIA MINIMA (ΘMn&gt;1,2Mcr)</b>	<b>Mcr</b>	192643,7	<b>kg-cm</b>
	<b>ΘMn</b>	545774,6	<b>kg-cm</b>
	ΘMn/Mcr	2,83	<b>CUMPLE</b>

**Cuantía máxima:**

La deformación debida a flexión en el extremo del acero longitudinal a tracción  $\varepsilon_t$  debe ser mayor a 0,005.

NIVEL	Esb	
1	-0,00181	COMPRESION
2	-0,00033	COMPRESION
3	0,00232	TRACCION
4	0,00497	TRACCION
5	0,00645	TRACCION

**Momento de Fisuración:**

Carga de servicio	250	kgf	
Momento de servicio	252,50	Ton-cm	
Momento de fisuración	192,64	Ton-cm	
Momento para fisuras	59,86	Ton-cm	
Fisuras admisibles	0,20	mm	
Ancho de fisuras	0,05	mm	<b>CUMPLE</b>

**Cortante:**

Vu	500	kg	
Vc	5191,46	kg	<b>CUMPLE</b>
f't	5028,43	kg/cm <sup>2</sup>	
fpc	12618,52	kg/cm <sup>2</sup>	
Q	22,00	cm <sup>3</sup>	
I	51,78	cm <sup>4</sup>	
t	3696,21	cm	
fc	39691,48	kg/cm <sup>2</sup>	

**Refuerzo transversal:**

Se coloca el mínimo establecido en la norma, el detalle se indica en el ANEXO 2.

**Torsión:**

Área externa de la sección	Acp	474,38	cm <sup>2</sup>
Perímetro externo de la sección	Pcp	97,91	cm
Torsión nominal	fpe	51,78	kg/cm <sup>2</sup>
Umbral de torsión	Tth	232,12	kg-m
Torsión nominal	Tn	940,46	kg-m



**Deflexiones:**

Para cargas de servicio se tiene:

$$M = (1010\text{cm} - x) \cdot 250\text{kg}$$

$$I = (0,0329x^2 - 80,85x + 52079) \cdot 0,5087$$

$$C_1 = 133552$$

$$C_2 = -5,15157 E^8$$

$$y(10,3\text{m}) = 19,74 \text{ cm}$$

Flecha máxima permitida 4% longitud útil del poste = 41,2 cm

Con la finalidad de aproximar la deflexión inelástica, se utiliza la recomendación del PCI, el cual da un coeficiente de reducción para el producto de EI, llegando a  $E_c I_c / 3$ , para secciones agrietadas.

$$M = (1010\text{cm} - x) \cdot 500\text{kg}$$

$$I = (0,0329x^2 - 80,85x + 52079) / 3$$

$$C_1 = 385837$$

$$C_2 = -1,38097 E^9$$

$$y(10,3\text{m}) = 63,13 \text{ cm}$$

**Efecto sísmico**

Se realiza el mismo consideraciones y análisis realizados para el poste de 10m.

PERIODO NATURAL		
Inercia equivalente	21349	cm4
Modulo elástico	302000	kg/cm2
Longitud	8,30	m
Masa total	0,54	kg*sg2/cm
Rigidez	135,31	kg/cm
Periodo	0,398	seg
Peso transformador	378	kg
Peso 1/3 poste	155,48	kg

Tabla 21: Periodo natural poste circular 12 m

**Cálculo del cortante Basal:**

CORTANTE BASAL		
$\Phi_p$	1	Coeficiente configuración planta
$\Phi_e$	1	Coeficiente configuración elevación
I	1	Coeficiente importancia
R	2	Factor de reducción de resistencia sísmica
W (kg)	533,48	Carga sísmica reactiva = DL
Ta	0,40	Periodo de vibración
Sa (Ta)	1,01	Espectro de diseño en aceleración
V (Kg)	268,87	Cortante basal total de diseño



Tabla 22: Cortante basal para poste circular de 12m

Se obtiene un cortante de 268,87 kg que va actuar a 2 metros de la punta (8,3 m desde la sección crítica). Este incremento de momento 223.162 Ton- cm se suma al momento de cargas de servicio. Obteniendo un nuevo momento de diseño de 475,76 Ton-cm. Con respecto al momento nominal se tiene un factor de seguridad de 1,15, con lo que se puede concluir que el poste resistirá adecuadamente un sismo de esa magnitud. El factor de seguridad establecido por la norma es de 2. Sin embargo, en la INEN 1965 no se menciona el efecto sísmico. Un estudio a profundidad de este tema está fuera del alcance de este trabajo.

### 4.3.3 Resultados postes sección H

#### Datos del Poste H 20 m

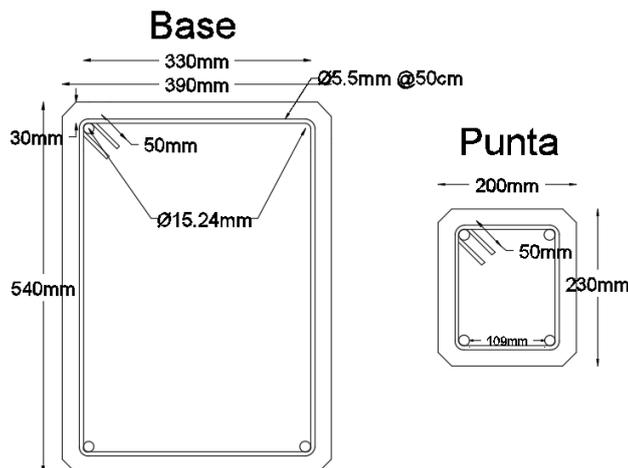


Figura 6: Secciones inicial y final poste H 20 m

<b>Longitud total</b>	<b>L</b>	<b>20</b>	<b>m</b>
<b>Ancho Base</b>	Ax	390	mm
<b>Ancho Punta</b>	Ax	200	mm
<b>Longitud Base</b>	Bx	540	mm
<b>Longitud Punta</b>	Bx	230	mm
<b>Espesor Punta</b>	M	20	mm
<b>Ancho Ala</b>	T	70	mm
<b>Ancho Alma</b>	A	90	mm
<b>Conicidad en Ax</b>	CnAx	9,5	mm/m
<b>Conicidad en Bx</b>	CnBx	15,5	mm/m
<b>Peso orientativo</b>		4416	kg

#### Longitud de empotramiento:

$$L_1 = \frac{L}{10} + 50 \text{ cm} = \frac{20\text{m}}{10} + 0,5\text{m} = 2,5 \text{ m}$$



### Localización de la sección Crítica y datos de la sección:

La sección donde se producirán los mayores esfuerzos es donde termina la longitud de empotramiento, aquí se calculan las propiedades de la sección:

Área	A	<b>1031,23</b>	cm <sup>2</sup>
Inercia	I	345631,76	cm <sup>4</sup>
Modulo Resistente de la Sección	S	30054,94	cm <sup>3</sup>

### Cargas en la Sección:

Carga de diseño	P <sub>nru</sub>	2400	kg
Momento Ultimo	M <sub>u</sub>	41520	kg-m
Esfuerzo de pretensado	f <sub>pi</sub>	14000	Kg/cm <sup>2</sup>

### Refuerzo en la sección Crítica

	Número	Diámetro		Área				
Cables de preesfuerzo	4	15,24	mm día. &	138,7	mm <sup>2</sup>	A total	5,55	cm <sup>2</sup>
Acero Pasivo	8	16	mm día. &	2,01	cm <sup>2</sup>	A total	16,08	cm <sup>2</sup>

### Esfuerzos en los cables:

#### Durante el tensionamiento

Ubicación	Esfuerzo máximo a tracción				
En el extremo del gato	Menor de:	0,94 f <sub>py</sub>	16093	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
		0,8 f <sub>pu</sub>	15200	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
			Máxima fuerza en el gato recomendada por el fabricante.		

### Pérdidas

P <sub>i</sub>	77672	kg
Perdidas	<b>17</b>	%
P <sub>e</sub>	<b>64467,76</b>	kg

### Etapa 1: Al Cortar los cables

Al momento de cortar los cables se calcula la sección crítica a momento debido al momento generado por el peso propio del elemento, considerando simples apoyos en los extremos del elemento. En secciones donde no se cumple los requerimientos del ACI, se considera el aporte del acero pasivo.



Resistencia Del Hormigón al cortar los cables	fci	350	kg/cm <sup>2</sup>
Momento Por Peso Propio	M	997985	kg-cm
Punto Momento Máximo	x	9,27	m

**Sección Crítica a Momento a la distancia x:**

	Ax	302	mm
	Bx	396	mm
	L'1=	150,51	mm
Área Centro Del Elemento	A	873,71	cm <sup>2</sup>
Centro de Gravedad	c	19,81	cm
Inercia de la Sección	I	181826	cm <sup>4</sup>

ACI							
Esfuerzo máx. compresión, centro	ftc	-191,67	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	210,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
Esfuerzo máx. tracción, centro	ftc	-98,37	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	14,97	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
Esfuerzo máx. compresión, extremos	fte	-154,99	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	245,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
Esfuerzo máx. tracción, extremos	fbe	-82,92	kg/cm <sup>2</sup>	1,6 raíz(fci)	29,93	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>

**Etapa 2: Transporte e Izado**

**Factor de impacto asumido: 1,33**

Para el transporte se considera dos posibles escenarios, el primero, se considera la sección simplemente apoyada en los extremos, el segundo dos puntos de apoyo a 3 y 17 metros, puntos en los cuales se calcula el momento debido al peso propio y ambos multiplicados por el factor de impacto.

Sección a 3m			Sección B a 17 m		
<b>Ax</b>	361,5	mm	Ax	228,5	mm
<b>Bx</b>	494	mm	Bx	277	mm
<b>b</b>	136	mm	b	69	mm
<b>alpha</b>	32	mm	alpha	16	mm
<b>L'</b>	248,86	mm	L'	63,52	mm
<b>A</b>	1012,60	cm <sup>2</sup>	A	512,99	cm <sup>2</sup>
<b>c</b>	24,68	cm	c	13,83	cm
<b>I</b>	326859	cm <sup>4</sup>	I	39933	cm <sup>4</sup>

**Simplemente apoyado:**

Esfuerzo max compresión, centro	ftc	-201,13	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	240	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>
Esfuerzo max tracción, centro	fbc	-62,49	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	16	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>
Esfuerzo max compresión, extremos	fte	-154,99	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	280	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>

**Sección a 3 m:**

Esfuerzo max compresión, centro	ftc	-80,73	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	240,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>
Esfuerzo max tracción, centro	fbc	-46,60	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	16,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>
Esfuerzo max compresión, extremos	fte	-63,67	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	280,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>

**Sección a 17 m:**

Esfuerzo max compresión, centro	ftc	-142,68	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	240,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>
Esfuerzo max tracción, centro	fbc	-108,67	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	16,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>
Esfuerzo max compresión, extremos	fte	-125,67	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	280,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>

**Izado:**

Se considera un solo punto en el izaje y se verifica el cortante:

Propiedades de la sección en el izaje		
<b>Ax</b>	270	mm
<b>Bx</b>	299	mm
<b>A</b>	686,6	cm <sup>2</sup>
<b>c</b>	17,7	cm
<b>I</b>	98567,4	cm <sup>4</sup>

Verificación en el izaje		
Punto de izaje	12	m
Vu	6218	kg
Vc	7277,81	kg

**Diseño a Última resistencia:****Diseño para sección de mayor inercia (carga de rotura)**

Se comprueba la flexión en la sección crítica:

Eje neutro	c	11,78	cm
Coeficiente	B1	0,75	
Área a compresión	Área	319,59	cm <sup>2</sup>
Centro de área a compresión	y	4,37	cm



Nivel	#	d (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Ese	Ece	Esb	Et	Esf (kg/cm <sup>2</sup> )	F (kg)	e(cm)	M (kg-cm)
1	2	4	2,77	0,00581	0,00021	-0,00198	0,00404	8071,3	22389,75	-7,78	-174201,96
2	4	4,6	8,04	0,00581	0,00021	-0,00183	-0,00183	-3657,1	-29412,40	-7,18	211193,74
3	4	45,5	8,04	0,00581	0,00021	0,00859	0,00859	4200,0	33778,40	33,74	1139837,6
4	2	46,1	2,77	0,00581	0,00021	0,00875	0,01476	29526,4	81906,12	34,34	2813030,2

Nivel: nivel de ubicación de los cables de pretensado o acero pasivo.

#: cantidad de cables o barras de acero pasivo.

d: distancia a cada nivel.

A: Área en cada nivel.

Esf: Esfuerzo en los cables o acero pasivo correspondientes a cada nivel.

F: Fuerza en los cables o acero pasivo.

e: excentricidad.

M: Momento.

Fuerza de compresión	Cc	108661,87	kg		
Centro área a compresión	Kc	4,46	cm		
Fuerza tracción	Ts	108661,87	kg		
Momento resistente	$\Theta Mn$	4306330	kg-cm	4306,33	Tn-cm
Momento ultimo	Mu	4152000	kg-cm	4152,00	Tn-cm

### Diseño para sección de menor inercia (40% carga de rotura)

Se comprueba la flexión en la sección crítica:

Eje neutro	c	16,92	cm
Coefficiente	B1	0,75	
Área a compresión	Área	266,70	cm <sup>2</sup>
Centro de área a compresión	y	6	cm

Nivel	#	d (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Ese	Ece	Esb	Et	Esf (kg/cm <sup>2</sup> )	F (kg)	e(cm)	M (kg-cm)
1	2	4	2,77	0,00700	0,00021	-0,00229	0,00492	9832,7	27275,99	-12,92	-352315,31
2	4	8	8,04	0,00700	0,00021	-0,00158	-0,00158	-3162,6	-25434,85	-8,92	226794,48
3	4	28,6	8,04	0,00700	0,00021	0,00208	0,00208	4152,7	33397,99	11,71	391034,33
4	2	32,6	2,77	0,00700	0,00021	0,00279	0,00999	19985,4	55439,58	15,71	870862,54

Fuerza de compresión	Cc	90678,72	kg		
Centro área a compresión	Kc	6,65	cm		
Fuerza tracción	Ts	90678,72	kg		
Momento resistente	$\Theta Mn$	1860804	kg-cm	1860,80	Tn-cm
Momento ultimo	Mu	1660800	kg-cm	1660,80	Tn-cm



## REQUISITOS DE CUANTIA

### Cuantía mínima:

Sección Crítica			
CUANTIA MINIMA ( $\Theta_{Mn} > 1,2M_{cr}$ )	$M_{cr}$	1150176	kg-cm
	$\Theta_{Mn}$	4306329,6	kg-cm
	$\Theta_{Mn}/M_{cr}$	3,74	<b>CUMPLE</b>

### Cuantía máxima:

La deformación neta en el extremo del acero longitudinal a tracción  $\varepsilon_t$  debe ser mayor a 0.005.

NIVEL	Esb	
1	-0,0020	<b>COMPRESION</b>
2	-0,0018	<b>COMPRESION</b>
3	0,0007	<b>TRACCION</b>
4	0,0086	<b>TRACCION</b>
5	0,0087	<b>TRACCION</b>

### Momento de Fisuración:

Carga de servicio	1200	kgf	
Momento de servicio	2076	Ton-cm	
Momento de fisuración	1150,18	Ton-cm	
Momento para fisuras	925,82	Ton-cm	
Fisuras admisibles	0,20	mm	
Ancho de fisuras	0,12	mm	<b>CUMPLE</b>

### Cortante:

Sección Crítica		
Vc escogido	4782	kg
Vc	1546	kg
Vc min	4782	kg
Vc max	12000	kg
Vu	2400	kg
Mu	4152000	kg-cm
bw	9	cm
dp	50,1	cm
fc	400	kg/cm <sup>2</sup>

Sección Punta		
<b>A</b>	460	cm <sup>2</sup>
<b>Vc</b>	4876,0	kg

**Refuerzo transversal:**

Se coloca el mínimo establecido en la norma, el detalle se indica en el ANEXO 2.

**Torsión:**

Área externa de la sección	Acp	1031,2	cm <sup>2</sup>
Perímetro externo de la sección	Pcp	228	cm
Torsión nominal	fpe	75,32	kg/cm <sup>2</sup>
Umbral de torsión	Tth	549,85	kg-m
Torsión nominal	Tn	2199,39	kg-m

**Deflexiones:**

Para cargas de servicio se tiene:

Se usa la sección transformada para calcular la deflexión y verificar que esta sección cumpla con las deflexiones:

$$M = (1730\text{cm} - x) \cdot 1200\text{kg}$$

$$I = (0,0946x^2 - 394,52x + 434729) \cdot 0,4467 \cdot 1,2447$$

El primer coeficiente depende de la inercia efectiva, el segundo debido a la sección transformada.

$$C_1 = 223473$$

$$C_2 = -1,35506 E^9$$

$$y (17,50\text{m}) = 51,28 \text{ cm}$$

Flecha máxima permitida 4% longitud útil del poste = 70 cm

Con la finalidad de aproximar la deflexión inelástica, se utiliza la recomendación del PCI, el cual da un coeficiente de reducción para el producto de  $EI$ , llegando a  $E_c I_c / 3$ , para secciones agrietadas.

FLECHA INELASTICA	<b>168,7 cm</b>
-------------------	-----------------



Datos del Poste sección H 17 m

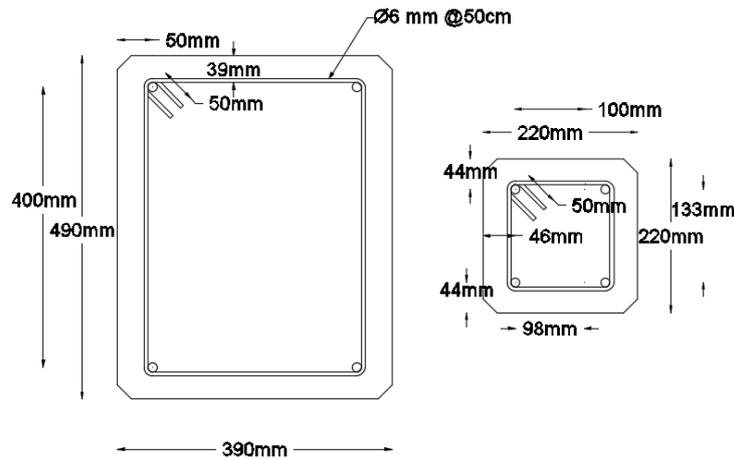


Figura 7: Secciones inicial y final poste H 17 m

<b>Longitud total</b>	L	17	m
<b>Ancho Base</b>	Ax	390	mm
<b>Ancho Punta</b>	Ax	220	mm
<b>Longitud Base</b>	Bx	490	mm
<b>Longitud Punta</b>	Bx	220	mm
<b>Espesor Punta</b>	m	20	mm
<b>Ancho Ala</b>	t	70	mm
<b>Ancho Alma</b>	a	90	mm
<b>Conicidad en Ax</b>	CnAx	10	mm/m
<b>Conicidad en Bx</b>	CnBx	15,9	mm/m
<b>Peso orientativo</b>		3360	kg

**Longitud de empotramiento:**

$$L_1 = \frac{L}{10} + 50 \text{ cm} = \frac{17m}{10} + 0,5m = 2,2 \text{ m}$$

**Localización de la sección Crítica y datos de la sección:**

La sección donde se producirán los mayores esfuerzos es donde termina la longitud de empotramiento, aquí se calculan las propiedades de la sección:

Área	A	993,96	cm <sup>2</sup>
Inercia	I	267546,83	cm <sup>4</sup>
Modulo Resistente de la Sección	S	24322,44	cm <sup>3</sup>

**Cargas en la Sección:**

Carga de diseño	Pnru	2000	kg
Momento Ultimo	Mu	29200	kg-m
Esfuerzo de pretensado	fpi	14000	Kg/cm <sup>2</sup>



### Refuerzo en la sección Crítica

	Número	Diámetro		Área				
Cables de preesfuerzo	4	12,7	mm día. &	98,7	mm <sup>2</sup>	A total	3,95	cm <sup>2</sup>
Acero Pasivo	6	16	mm día. &	2,01	cm <sup>2</sup>	A total	12,06	cm <sup>2</sup>

### Esfuerzos en los cables:

#### Durante el tensionamiento

Ubicación	Esfuerzo máximo a tracción				
En el extremo del gato	Menor de:	0,94 fpy	16093	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
		0,8 fpu	15200	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
		Máxima fuerza en el gato recomendada por el fabricante.			

### Perdidas

Pi	55272	kg
Perdidas	<b>18</b>	%
Pe	<b>45323,04</b>	kg

### Etapa 1: Al Cortar los cables

Al momento de cortar los cables se calcula la sección crítica a momento debido al momento generado por el peso propio del elemento, considerando simples apoyos en los extremos del elemento. En secciones donde no se cumple los requerimientos del ACI, se considera el aporte del acero pasivo.

Resistencia Del Hormigón al cortar los cables	fci	350	kg/cm <sup>2</sup>
Momento Por Peso Propio	M	704169	kg-cm
Punto Momento Máximo	x	7,94	m

### Sección Crítica a Momento a la distancia x:

	Ax	<b>311</b>	mm
	Bx	364	mm
	L'1=	117,72	mm
Área Centro Del Elemento	A	873,71	cm <sup>2</sup>
Centro de Gravedad	c	18,20	cm
Inercia de la Sección	I	143776	cm <sup>4</sup>



<b>ACI</b>							
Esfuerzo máx. compresión, centro	ftc	-149,73	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	210,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
Esfuerzo máx. tracción, centro	fbc	-70,62	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	14,97	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
Esfuerzo máx. compresión, extremos	fte	-106,13	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	245,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>
Esfuerzo máx. tracción, extremos	fbe	-60,61	kg/cm <sup>2</sup>	1,6 raíz(fci)	29,93	kg/cm <sup>2</sup>	<b>Cumple</b>

## Etapa 2: Transporte e Izado

### Factor de impacto asumido: 1,33

Para el transporte se considera dos posibles escenarios, el primero, se considera la sección simplemente apoyada en los extremos, el segundo dos puntos de apoyo a 3 y 14 metros, puntos en los cuales se calcula el momento debido al peso propio y ambos multiplicados por el factor de impacto.

Sección a 3m			Sección a 14 m		
Ax	360 mm		Ax	250 mm	
Bx	442 mm		Bx	268 mm	
b	135 mm		b	80 mm	
alpha	32 mm		alpha	19 mm	
L'	198 mm		L'	50 mm	
A	962,90 cm <sup>2</sup>		A	551,36 cm <sup>2</sup>	
c	22,1 cm		c	13,4 cm	
I	241900 cm <sup>4</sup>		I	39750 cm <sup>4</sup>	

### Simplemente apoyado:

Esfuerzo max compresión, centro	ftc	-164,03	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	240	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>
Esfuerzo max tracción, centro	fbc	-41,21	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	16	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>
Esfuerzo max compresión, extremos	fte	-106,13	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	280	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>

### Sección a 3 m:

Esfuerzo max compresión, centro	ftc	-66,13	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	240,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>
Esfuerzo max tracción, centro	fbc	-28,01	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	16,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>
Esfuerzo max compresión, extremos	fte	-47,07	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	280,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>

**Sección a 17 m:**

Esfuerzo max compresión, centro	ftc	-99,58	kg/cm <sup>2</sup>	0,6 fci	240,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>
Esfuerzo max tracción, centro	fbc	-64,82	kg/cm <sup>2</sup>	0,8 raíz(fci)	16,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>
Esfuerzo max compresión, extremos	fte	-82,20	kg/cm <sup>2</sup>	0,7 fci	280,00	kg/cm <sup>2</sup>	<b>CUMPLE</b>

**Izado:**

Se considera un solo punto en el izaje y se verifica el cortante:

Propiedades de la sección en el izaje		
<b>Ax</b>	270	mm
<b>Bx</b>	299	mm
<b>A</b>	624,04	cm <sup>2</sup>
<b>c</b>	14,97	cm
<b>I</b>	59666	cm <sup>4</sup>

Verificación en el izaje		
<b>Punto de izaje</b>	12	m
<b>Vu</b>	5130	kg
<b>Vc</b>	<b>6614,85</b>	kg

**Diseño a Última resistencia:****Diseño para sección de mayor inercia (carga de rotura)**

Se comprueba la flexión en la sección crítica:

Eje neutro	c	965	cm
Coeficiente	B1	0,75	
Área a compresión	Área	262,34	cm <sup>2</sup>
Centro de área a compresión	y	3,57	cm

Nivel	#	d (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Ese	Ece	Esb	Et	Esf (kg/cm <sup>2</sup> )	F (kg)	e(cm)	M (kg-cm)
1	2	4,5	1,97	0,00574	0,00015	-0,00161	0,00428	8567,1	16911,45	-5,17	-87442
2	3	4,9	6,03	0,00574	0,00015	-0,00146	-0,00146	-2928,9	-17666,54	-4,71	83220
3	3	40,6	6,03	0,00574	0,00015	0,00961	0,00961	4200,0	25333,80	30,92	783232
4	2	41,0	1,97	0,00574	0,00015	0,00975	0,01565	31290,7	61767,79	31,38	1938056



Nivel: nivel de ubicación de los cables de pretensado o acero pasivo.

#: cantidad de cables o barras de acero pasivo.

d: distancia a cada nivel.

A: Área en cada nivel.

Esf: Esfuerzo en los cables o acero pasivo correspondientes a cada nivel.

F: Fuerza en los cables o acero pasivo.

e: excentricidad.

M: Momento.

Fuerza de compresión	Cc	89196	kg		
Centro área a compresión	Kc	<b>3,66</b>	cm		
Fuerza tracción	Ts	<b>86346,50</b>	kg		
Momento resistente	<b>ΘMn</b>	2925910,66	kg-cm	<b>2925,91</b>	Tn-cm
Momento ultimo	<b>Mu</b>	2920000	kg-cm	<b>2920,00</b>	Tn-cm

### Diseño para sección de menor inercia (40% carga de rotura)

Se comprueba la flexión en la sección crítica:

Eje neutro	c	14,94	cm
Coeficiente	B1	0,75	
Área a compresión	Área	231,55	cm <sup>2</sup>
Centro de área a compresión	y	5,4	cm

Nivel	#	d (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	Ese	Ece	Esb	Et	Esf (kg/cm <sup>2</sup> )	F (kg)	e(cm)	M (kg-cm)
1	2	<b>4</b>	1,97	0,00700	0,00015	-0,00220	0,00495	9908,6	19559,57	-10,94	-213946,55
2	6	<b>18,4</b>	12,06	0,00700	0,00015	0,00070	0,00070	1390,4	16773,96	3,46	58068,019
3	2	<b>32,8</b>	1,97	0,00700	0,00015	0,00359	0,01074	21476,3	42394,12	17,86	757235,17

Fuerza de compresión	Cc	78727,64596	kg		
Centro área a compresión	Kc	<b>5,84</b>	cm		
Fuerza tracción	Ts	<b>78727,65</b>	kg		
Momento resistente	<b>ΘMn</b>	1185672	kg-cm	<b>1185,67</b>	Tn-cm
Momento ultimo	<b>Mu</b>	1168000	kg-cm	<b>1168,00</b>	Tn-cm



## REQUISITOS DE CUANTIA

### Cuantía mínima:

Sección Crítica			
CUANTIA MINIMA ( $\Theta M_n > 1,2 M_{cr}$ )	Mcr	820917	kg-cm
	$\Theta M_n$	2925911	kg-cm
	$\Theta M_n / M_{cr}$	3,56	<b>CUMPLE</b>

### Cuantía máxima:

La deformación neta en el extremo del acero longitudinal a tracción  $\varepsilon_t$  debe ser mayor a 0.005.

NIVEL	Esb	
1	-0,0016	<b>COMPRESION</b>
2	-0,0015	<b>COMPRESION</b>
3	0,0096	<b>TRACCION</b>
4	0,0098	<b>TRACCION</b>

### Momento de Fisuración:

Carga de servicio	1000	kgf	
Momento de servicio	1460	Ton-cm	
Momento de fisuración	820,92	Ton-cm	
Momento para fisuras	639,08	Ton-cm	
Fisuras admisibles	0,20	mm	
Ancho de fisuras	0,11	mm	<b>CUMPLE</b>

### Cortante:

Sección Crítica		
<b>Vc escogido</b>	<b>4341,26</b>	kg
Vc	1410,65	kg
Vc min	4341,26	kg
Vc max	10894,11	kg
Vu	2000,00	kg
Mu	2920000	kg-cm
bw	9,00	cm
dp	45,51	cm
fc	400	kg/cm <sup>2</sup>

Sección Punta		
A	484,00	cm <sup>2</sup>
Vc	5130,40	kg

**Refuerzo transversal:**

Se coloca el mínimo establecido en la norma, el detalle se indica en el ANEXO 2.

**Torsión:**

Área externa de la sección	Acp	994,0	cm <sup>2</sup>
Perímetro externo de la sección	Pcp	214	cm
Torsión nominal	fpe	55,61	kg/cm <sup>2</sup>
Umbral de torsión	Tth	484,71	kg-m
Torsión nominal	Tn	1938,85	kg-m

**Deflexiones:**

Para cargas de servicio se tiene:

$$M = (1460\text{cm} - x) \cdot 1000\text{kg}$$

$$I = (0,0945x^2 - 346x + 336880) \cdot 0,3884$$

$$C_1 = 247991$$

$$C_2 = -1,52601 E^9$$

$$y(14,8\text{m}) = 45,72 \text{ cm}$$

Flecha máxima permitida 4% longitud útil del poste = 59,2 cm

Con la finalidad de aproximar la deflexión inelástica, se utiliza la recomendación del PCI, el cual da un coeficiente de reducción para el producto de  $EI$ , llegando a  $E_c I_c / 3$ , para secciones agrietadas.

$$M = (1460\text{cm} - x) \cdot 2000\text{kg}$$

$$I = (0,0945x^2 - 346x + 336880) / 3$$

$$C_1 = 771015$$

$$C_2 = 4,03888 E^9$$

$$y(14,8\text{m}) = 66,6 \text{ cm}$$

## 5 Modelo Físico

Para comprobar los resultados obtenidos analíticamente en la etapa del diseño se fabrica un poste de sección H 17 m bajo una carga de 2000 kg a 20 cm de la punta. Los planos de los postes considerados en este estudio se muestran en el ANEXO 2.

### 5.1 Selección del modelo

La selección del modelo se realiza en función de los requerimientos de materiales, equipos y la disponibilidad de estos en la fábrica RFV CONSTRUCCIONES CIA LTDA. Como factor importante se tiene el costo del encofrado. Tomando en cuenta estos factores se optó por fabricar el poste tipo H 17m.

### 5.2 Consideraciones de encofrado

Para el poste seleccionado fue necesario fabricar cofres metálicos los cuales trabajan como aliviamiento a lo largo del elemento. Se fabricaron en plancha metálica de 3 mm con el objetivo sean capaces de soportar los esfuerzos generados por hormigón. Además, conseguir una adecuada precisión en cada cofre. La geometría tipo de los cofres se muestra en la Figura 8.

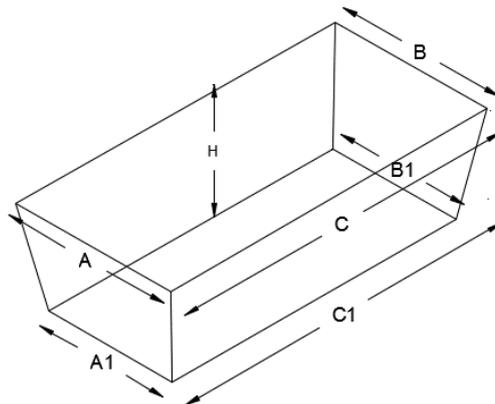


Figura 8: Geometría para cofres poste tipo H

En el ANEXO 3 se presenta las dimensiones de todos los cofres para el poste prototipo y para el de 20 m. Las demás piezas del encofrado se conformaron por paneles metálicos ubicados lateralmente a las caras del poste. Además de separadores de madera en la sección inicial y final.

Dadas las dimensiones del poste prototipo se escogió una bancada de 22,30 m para el tensado de los cables, siendo esta la más pequeña disponible en la fábrica. Para el proceso de tensado de los cables son necesarias placas por las que atraviesan los cables de extremo a extremo de la bancada. Las placas deben ser capaces de soportar los esfuerzos generados por el pretensado. Las distancias entre los agujeros de estas placas son generalmente establecidas en medidas fijas cada 5cm. Fue necesario ajustar la distribución de los torones a estas medidas.

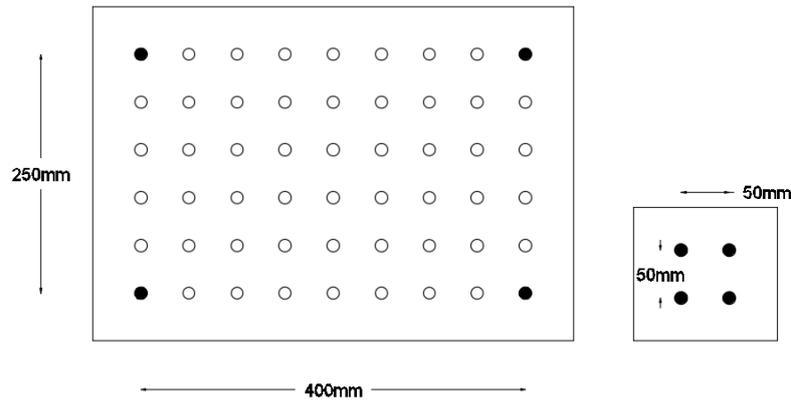


Figura 9: Placas al inicio y final de la bancada

La conicidad en las caras del poste fue un factor determinante para la ubicación del elemento y accesorios necesarios para el pretensado. La longitud de la bancada al ser más grande que la del poste, hace necesario colocar un separador en la cara final del poste. A partir de esta se proyectan los cables para determinar la ubicación de la placa al final de la bancada.

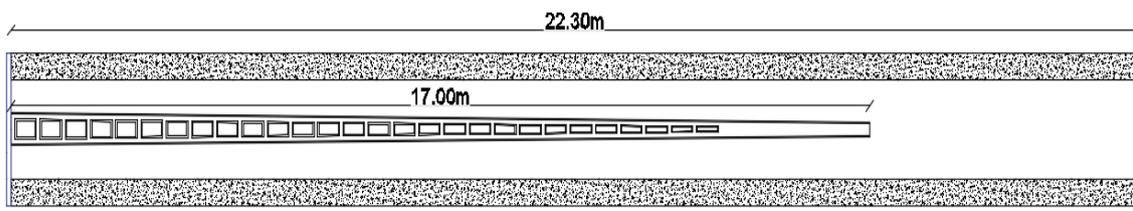


Figura 10: Vista en planta de la bancada

Por facilidad de construcción no se consideró los bordes biselados del poste, el objeto de estos es obtener un acabado más suavizado y evitar daño en los bordes. Las dimensiones de estos son pequeñas, su efecto en el comportamiento estructural del poste es despreciable.

### 5.3 Proceso de fabricación

Se ideó un proceso de fabricación en base a la disponibilidad de equipo y materiales en la fábrica RFV CONSTRUCCIONES CIA LTDA. Además de recomendaciones del equipo de planta. El poste se lo funde con una de sus caras apoyadas directamente sobre la superficie horizontal.

El proceso de fabricación consta de las siguientes etapas:

1. Armar una base lisa metálica para soldar los cofres metálicos.
2. Trazado de ejes y líneas laterales sobre la base.
3. Ubicación de los cofres con puntos de suelda.
4. Colocación de placas y separadores a lo largo de la bancada.
5. Colocación y tensado de cables.
6. Armado de los estribos.
7. Colocar acero pasivo.



8. Ubicación de los paneles laterales.
9. Colocación de los cofres superiores.
10. Engrasado de todos los elementos.
11. Hormigonado.
12. Desencofrado.
13. Cortado de cables.

En el ANEXO 5 se muestra el desarrollo de todas estas etapas.

## 5.4 Ensayo

El poste puede ser ensayado de forma horizontal o vertical. La posición horizontal es la más utilizada por facilidad de ejecución y seguridad. La norma INEN 1967 2.3.2 establece el equipo, definiciones y procedimiento a seguir para la ejecución del ensayo. Además de requisitos adicionales de la INEN 1965. Los numerales 5.4.1- 5.4.6, se toman textualmente de estas normas.

### 5.4.1 Equipo y elementos de ensayo

- a) Dinamómetro, con una escala graduada al 5% o menos de la carga máxima que se va a medir.
- b) Flexómetro graduado al mm.
- c) Micrómetro óptico, con una escala graduada al 0,05 mm, para la medición de fisuras.
- d) Dispositivo de tracción.
- e) Abrazaderas.
- f) Patines.

### 5.4.2 Procedimiento ensayo de carga horizontal

Colocar el poste en posición horizontal en la estación de pruebas, y adoptar las precauciones necesarias para anular los efectos de peso propio, sin que ello impida la deformación del poste debido a la carga durante el ensayo.

Someter al poste a ciclos sucesivos de carga aplicada en dirección normal al eje del poste y registrar las flechas correspondientes a incrementos del 10 % de la carga nominal rotura, hasta llegar a un valor del 60 % como mínimo, de dicha carga. Debe cumplir los siguientes pasos:

- a) Cargar al poste que se va a ensayar; reducir la carga actuante gradualmente hasta cero, y registrar las flechas correspondientes a cada ciclo, después de someter al poste a una serie de oscilaciones alternadas ejecutadas manualmente, para vencer los esfuerzos que actúan sobre los apoyos. Las lecturas de las flechas se efectuarán por lo menos 2 minutos después de aplicada cada carga.
- b) Medir el ancho de las fisuras producidas, al llegar a la carga de servicio



- c) Medir la flecha de la deformación permanente, una vez alcanzado el ciclo correspondiente al 60 % de la carga nominal de rotura.
- d) Al descargar al poste, registrar los deterioros causados en el ensayo, ya sea que en los mismos aparezca desprendimientos del hormigón, o fisuras no cerradas en la zona traccionada, mayores de 0,10 m de ancho, luego de descargar al poste.

### **5.4.3 Ensayo de rotura**

A partir del 60% de la carga y sin descargar, se registran las flechas correspondientes a esos incrementos, hasta alcanzar la carga de rotura, la misma que está definida por la carga máxima indicada por el dinamómetro, habiéndose cargado al poste de un modo continuo y creciente.

En los escalones de 70, 80 y 90% del valor de la carga nominal de rotura, se mantendrá la aplicación de la sollicitación durante 2 minutos, y se registrarán las flechas correspondientes.

A partir del 90% de la carga nominal de rotura se incrementará en forma progresiva y continua hasta la rotura.

### **5.4.4 Cargas de ensayo**

#### **Carga de fisuración**

Someter al poste a un aumento gradual de carga, hasta llegar a la carga nominal de fisuración 20% de la carga nominal de rotura, evitando los incrementos bruscos de carga y verificando su cumplimiento. Se reduce la carga a cero en forma gradual, se mide la flecha de la deformación permanente y se verifica la permanencia o no de las fisuras.

#### **Carga límite de abertura de fisuras**

Con el mismo procedimiento indicado en el caso anterior se verifica el cumplimiento de esta carga límite 30% de la carga nominal de rotura.

#### **Carga de ensayo en fase elástica**

Se verifica el cumplimiento al 60% de la carga nominal de rotura, según el procedimiento descrito para el ensayo de carga y se verifica su cumplimiento. Si la carga de ensayo en fase elástica fuera inferior a la carga nominal de fisuración o a la carga nominal límite de abertura de fisuras, este ensayo se efectuará antes de realizar lo indicado.

### **5.4.5 Medición de las Fisuras**

Se considera que se alcanza un determinado valor de ancho de fisura, cuando el mismo se mide, por lo menos, en tres puntos ubicados a lo largo de la fisura en la longitud de 100mm como mínimo. Las mediciones se efectuarán en lugares donde los bordes de la fisura sean netos, sin desprendimiento o descascamiento del material y aproximadamente paralelos.



#### **5.4.6 Requisitos de flexión y deflexiones**

Los requisitos establecidos en la norma INEN 1965 establecen lo siguiente:

##### **Carga de fisuración.**

No deben presentar, una vez descargados, desprendimientos de hormigón en la parte comprimida, ni fisuras mayores de 0,05 mm en la parte traccionada.

##### **Carga límite de abertura de fisuras**

No deben presentar, una vez descargados, desprendimientos de hormigón en la parte comprimida, ni fisuras mayores de 0,10 mm en la parte traccionada.

##### **Carga de ensayo en fase elástica**

Se debe llegar a una carga igual al 60% de la carga nominal de rotura, y la deformación permanente no debe exceder del 5% de la flecha alcanzada en la fase elástica. La flecha máxima en la fase elástica no debe ser mayor que el 4% de la longitud útil del poste.

##### **Carga de rotura**

El poste debe soportar sin romperse una carga no menor del 100% de la carga nominal de rotura establecida en cada caso.

##### **Fisuras admisibles**

Para los postes sometidos a cargas permanentes, el ancho de las fisuras admisibles para condiciones normales de trabajo debe ser hasta 0,20 mm y para medios agresivos (costa marítima, posibilidad de ataque químico), debe ser de 0,10 mm.



## 5.4.7 Reporte

## INEN INSTITUTO ECUATORIOA DE NORMALIZACION

### ENSAYO DE RECEPCION DE POSTES DE HORMIGON

<b>Proyecto:</b>	Trabajo de Titulación	<b>Tipo:</b>	Poste sección H	<b>Fecha de ensayo:</b>	14/10/2016
<b>Fabricante:</b>	Pedro Márquez y Juan Pablo Mendieta	<b>Altura:</b>	17 m	<b>Edad (días):</b>	6
<b>Lugar de fabricación:</b>	Jadán, Cuenca	<b>Empotramiento:</b>	2,2 m	<b>Hormigón (f'c):</b>	400 kg/cm <sup>2</sup>
		<b>Carga de trabajo:</b>	1000 kg	<b>Hierro (fy):</b>	4200 kg/cm <sup>2</sup>
		<b>Carga de rotura:</b>	2000 kg	<b>Acero de preesfuerzo (fpy):</b>	17120 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Fecha de fabricación:</b>	8/10/2016	<b>F.S a rotura:</b>	2		

### ENSAYO MECANICO DE RESISTENCIA A LA FLEXION

% de la carga de rotura	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	ROTURA
<b>Carga (kg)</b>	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2100
<b>Flecha (cm)</b>	0	0,6	4,5	6	13	23,5	44,4	56,2	71,6	81,4	113	116
<b>Deformación permanente (cm)</b>	0	0	0	0,6	1,5	1,8	2,1	3,8	4,2	5,0	9,7	10

**NOTAS:** La falla del elemento se produjo por las condiciones de empotramiento, no se aseguró de forma adecuada y esto hizo que se produjeran fuerzas de cortante no previstas en el cálculo. Esto se muestra en el ANEXO 6. Sin embargo la carga de rotura fue alcanzada.

### EVALUACION DE RESULTADOS

<b>Flecha (carga de trabajo) =</b>	24	$\leq 4\%$ longitud útil =	59,2	<b>SI</b>	<b>X</b>	<b>NO</b>
<b>Deformación permanente a 60% carga de rotura =</b>	2,1	$\leq 5\%$ flecha máxima (60% carga rotura)	2,96	<b>SI</b>	<b>X</b>	<b>NO</b>
<b>Dimensión de fisuras =</b>	0,1	$\leq 0,2$ mm		<b>SI</b>	<b>X</b>	<b>NO</b>
<b>Las fisuras se cierran al retirar la carga</b>				<b>SI</b>	<b>X</b>	<b>NO</b>
<b>Desprendimiento del hormigón en la zona comprimida</b>				<b>SI</b>		<b>NO</b> X
<b>Carga de rotura =</b>	2110	$\geq$ carga de rotura de diseño	2000	<b>SI</b>	<b>X</b>	<b>NO</b>



## 6 Análisis Económico de factibilidad

Con los resultados del diseño analítico y el del ensayo del poste tipo H, que validan los diseños propuestos para los 4 postes analizados en este estudio. La etapa final es determinar si las propuestas son factibles. Esto ajustándonos a los precios ofertados en el mercado local.

### 6.1 Análisis de costos

El análisis de costos realizado en este estudio se centra en determinar el precio comercial de cada uno de los tipos (materiales) de postes en nuestra región. Una vez determinado estos valores se puede concluir si la propuesta de postes de hormigón pretensado es factible.

#### 6.1.1 Postes de hormigón armado

La última referencia del precio unitario de los postes de hormigón armado circulares de 10 y 12 m se la obtiene de la última compra realizada por la Empresa Regional Centro Sur, empresa que se encarga de la distribución de energía eléctrica en nuestra región Austral.

EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR CA

CÓDIGO DEL PROCESO: SIE-EECS-DF-097-2015

Objeto de Contratación: "POSTES CIRCULARES DE HORMIGÓN ARMADO DE 12 M X 500 KG y 10 M x 400 KG."

#### DETALLE PRESUPUESTO REFERENCIAL

CODIGO	DESCRIPCIÓN DEL BIEN O SERVICIO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
375500036	POSTE CIRCULAR DE HORMIGON ARMADO, 10 m x 400 kg	Unidad	1800	150,09	270160,00
375500031	POSTE CIRCULAR DE HORMIGON ARMADO, 12 m x 500 kg	Unidad	6500	211,98	1377855,05

Para los postes tipo H al ser fabricados para casos específicos no se tienen una referencia comercial. Sin embargo, los postes de interés, debido a su mayor demanda en el mercado son los circulares de 10 y 12 m.



### 6.1.2 Postes PRFV

El precio comercial de los postes PRFV también se obtuvieron en base a la última compra realizada por la Empresa Regional Centro Sur. Los datos se toman de la factura emitida por la empresa EQUISPLAST

Factura

N° 001-090-000000064

Fecha y hora de autorización 2015-08-04T11:50:48.446-05:00

#### DETALLE DE PRECIOS

CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
PO10X4001 GTFW10	POSTE CIRCULAR DE PRFV, 10 m x 400 kg	Unidad	150	353,55	53032,50
PO12X5001 GTFW10	POSTE CIRCULAR DE PRFV, 12 m x 500 kg	Unidad	100	427,64	42764,00

### 6.1.3 Postes de hormigón pretensado

El precio comercial de los postes de hormigón pretensado, fue obtenido de parte de la empresa RFV CONSTRUCCIONES CIA LTDA, como se detalla a continuación. La certificación se asunta en el ANEXO 1.

#### OFERTA RFV CONSTRUCCIONES CIA LTDA.

CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO
1	POSTE CIRCULAR DE HORMIGÓN PRETENSADO, 12 m x 500 kg	Unidad	1	194,01
2	POSTE CIRCULAR DE HORMIGÓN PRETENSADO, 10 m x 400 kg	Unidad	1	142,74
3	POSTE HORMIGÓN PRETENSADO TIPO H 17X2000	Unidad	1	587,18
4	POSTE HORMIGÓN PRETENSADO TIPO H 12X2400	Unidad	1	867,16

No está incluido:

IVA

Transporte e Instalación

Incluido:

Fabricación y cargado sobre plataforma de transporte en fábrica



## 7 Conclusiones

El aporte del preesfuerzo a la resistencia a flexión del poste es significativa, la deformación unitaria de cada torón se modifica con las deformaciones iniciales  $\varepsilon_{se}$  y  $\varepsilon_{ce}$ , resultando en un aumento del momento resistente. Esto representa una disminución en la cantidad de acero necesario para cumplir el momento último debido a la carga de rotura.

Los valores de deflexiones elásticas calculadas para cada uno de los postes de estudio son pequeñas comparadas con los límites establecido por la normativa, el comportamiento ante las cargas solicitadas se mejora considerablemente.

El proceso de fabricación del poste prototipo fue relativamente complejo y largo debido a que era el primer poste de su tipo en fabricarse, se dio soluciones conforme avanzaba el proceso. Una vez justificado su uso se puede optimizar todos los procesos para producciones en masa.

Con el fin de obtener secciones más económicas que la competencia, pero sin descuidar la seguridad estructural, se buscó apearnos al espesor mínimo dado por la norma INEN.

Para longitudes pequeñas 10 – 12 metros de sección circular se obtiene diferencias de peso de 62 y 70 kg respectivamente. Para los postes sección H 17 y 20 m se tiene diferencias considerables de 500 y 700 kg respectivamente. Siendo el peso un factor determinante para el traslado e izado, debido a los requerimientos en tiempo, maquinaria y personal. La propuesta presenta una alternativa viable.

El ensayo se realizó satisfactoriamente hasta la carga nominal de rotura, es decir cumplió los requerimientos de la norma. La falla del elemento se produjo en el empotramiento, luego de la carga nominal de rotura, debido a fuerzas de cortantes no calculadas, generadas por una excesiva separación en los puntales.

Además de las ventajas estructurales mencionadas, los precios compiten con los de hormigón armado. Por otro lado, los postes PRFV tienen precios elevados. Su uso se justifica por su menor peso, para colocación en lugares donde no se dispone de acceso vehicular. La oferta económica de fabricación de postes de hormigón pretensado realizada por RFV CONSTRUCCIONES CIA LTDA, muestra que es factible su fabricación y disposición al mercado local y nacional.



## 8 Referencias

- ACI 318 Committee, 318s-2014. (2014). *ACI Standard Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318S-2014)*. standard.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2015). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. standard.
- ASCE Task Force/PCI Committee on Concrete, A. (1997). *Guide for the Design of Prestressed Concrete Poles*.
- ASTM C1089-13. (2013). Standard Specification For Spun Cast Prestressed Concrete Poles. *ASTM International*, (West Conshohocken), PA. Retrieved from [www.astm.org](http://www.astm.org)
- Carrasco, F. C. (2010). *Hormigón Pretensado Diseño de Elementos Isostáticos*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Electrificaciones del Ecuador Elecdor S A. (2015). *Catálogo ELECDOR: Postes de Hormigón Armado*.
- INEN 1965, I. E. de N. (2015). POSTES DE HORMIGÓN ARMADO Y PREESFORZADO PARA SOPORTES DE INSTALACIONES DE LÍNEAS Y REDES AÉREAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TELECOMUNICACIONES. REQUISITOS.
- INEN 1967, I. E. de N. (2015). INEN, I. E. de N. (1965). "POSTES DE HORMIGÓN ARMADO Y PREESFORZADO PARA SOPORTES DE INSTALACIONES DE LÍNEAS Y REDES AÉREAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TELECOMUNICACIONES. ENSAYOS."
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2011). *HOMOLOGACIÓN DE LAS UNIDADES DE PROPIEDAD (UP) Y UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN (UC) DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA* (book). Retrieved from [http://www.unidadesdepropiedad.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=137&Itemid=811](http://www.unidadesdepropiedad.com/index.php?option=com_content&view=article&id=137&Itemid=811)
- Nawy, E. G. (2009). *Prestressed Concrete*. Pearson Education. article.
- Prestressed Concrete Institute (PCI). (1999). MNL 116, Manual for Quality Control for Plants and Production of Precast Prestressed Concrete Products.
- Prestressed Concrete Institute (PCI). (2010). *PCI Design HandBook, Precast and Prestressed Concrete*.
- Raju, N. K. (2012). *Prestressed concrete*.
- Rodgers Jr, T. E. (1984). Prestressed Concrete Poles: State-of-the-Art. *PCI Journal*, 29(5), 52–103. article.
- Task Committee on Concrete Pole Structures. (2012). *Prestressed Concrete Transmission Pole Structures: Recommended Practice for Design and Installatio*. American Society of Civil Engineers (Vol. Practice N). Retrieved from <http://www.asce.org/templates/publications-book-detail.aspx?id=7060>
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (2016). *Guide Specification for Prestressed Concrete Poles and Concrete Pole Structures* (book). Tata McGraw-Hill Education. Retrieved from [http://www.unidadesdepropiedad.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=137&Itemid=811](http://www.unidadesdepropiedad.com/index.php?option=com_content&view=article&id=137&Itemid=811)



## 9 ANEXOS:

### 9.1 ANEXO 1: Oferta fabricación postes de hormigón pretensado



#### Carrasco RFV Construcciones Cia. Ltda.

Cuenca 11 de Octubre de 2016  
Oferta 030-2016 - Tesis MM

Estudiantes  
**Pedro Márquez, Juan Pablo Mendieta**  
Cuenca

De mi consideración:

De acuerdo con su solicitud, a continuación le damos a conocer la oferta para fabricación de postes prefabricados de hormigón pretensado de acuerdo con la información recibida.

**Costo:**

Elemento	Costo Unitario
POSTE TIPO CIRCULAR 12X500	\$194.01
POSTE TIPO CIRCULAR 10X400	\$142.74
POSTE TIPO H 17x2000	\$587.18
POSTE TIPO H 20x2400	\$867.16

No está incluido:

- IVA
- Transporte e Instalación

Incluido:

- Fabricación y cargado de postes sobre plataforma de transporte (en fabrica)

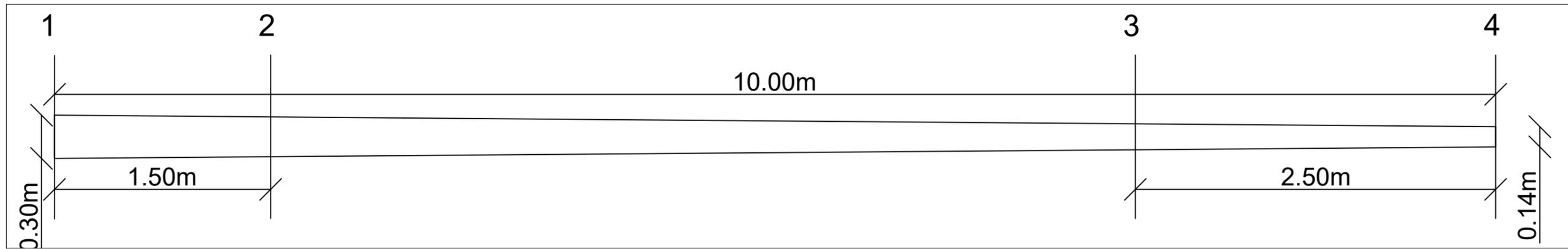
Sin otro particular y gustosos de poder colaborar en este proyecto, suscribo.

Atentamente,

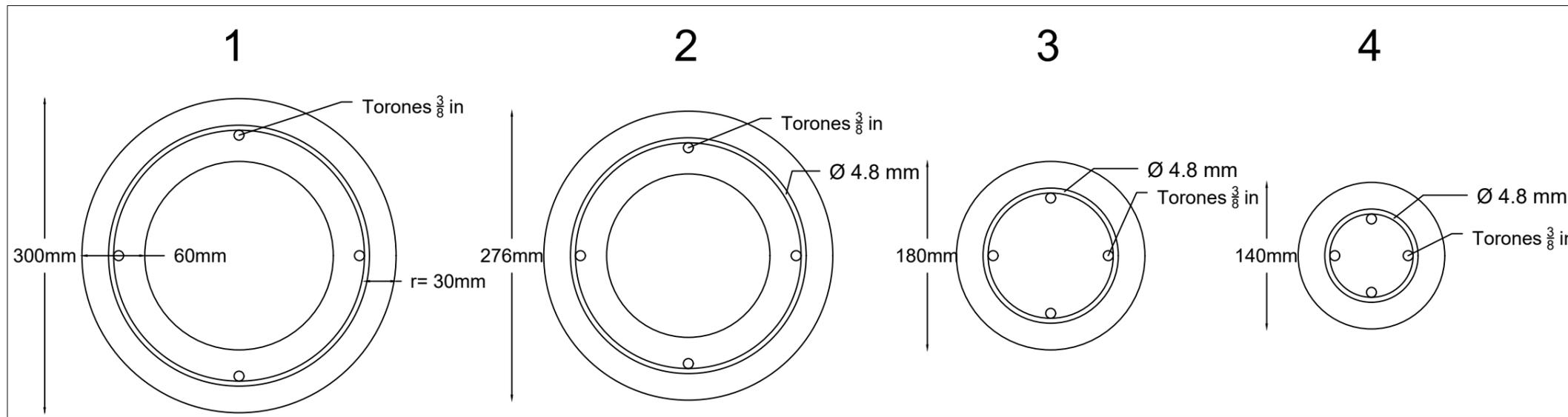
  
Ing. Vladimir Carrasco C.  
GERENTE



## 9.2 ANEXO 2: PLANOS



**VISTA LATERAL POSTE CIRCULAR 10 m**  
**ESCALA 1:30**



**DETALLE DE SECCIONES PUNTOS 1 - 4**  
**ESCALA 1:5**

**COMENTARIO**

- 1: Base
- 2: Sección crítica (EMPOTRAMIENTO)
- 3: Sección punta
- 4: Punta

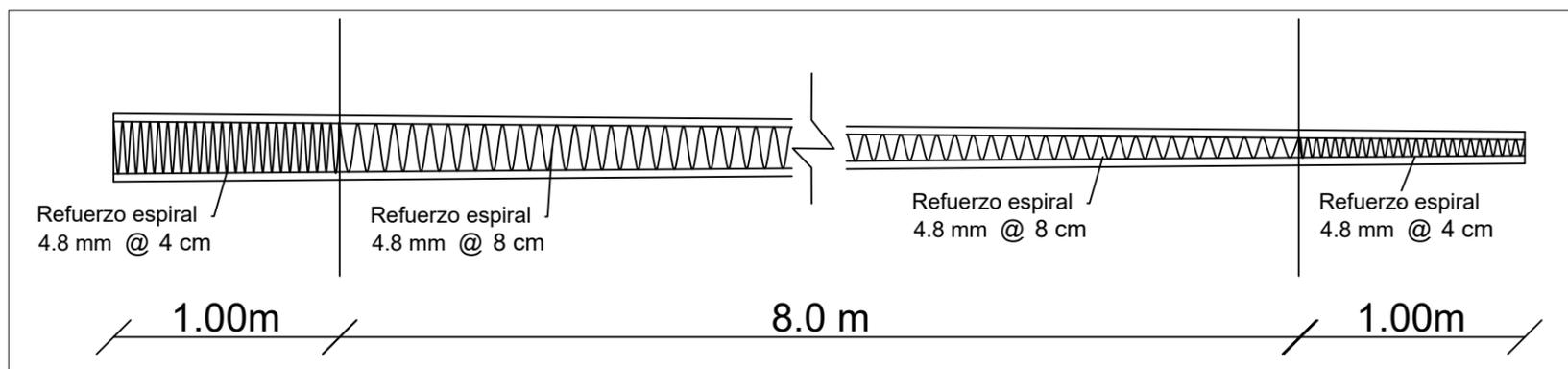
Tramo 3-4 : Sección maciza

**REGLAMENTO: ACI 318S-14,**  
**PCI DESIGN HANDBOOK 7th edition**

**MATERIALES:**

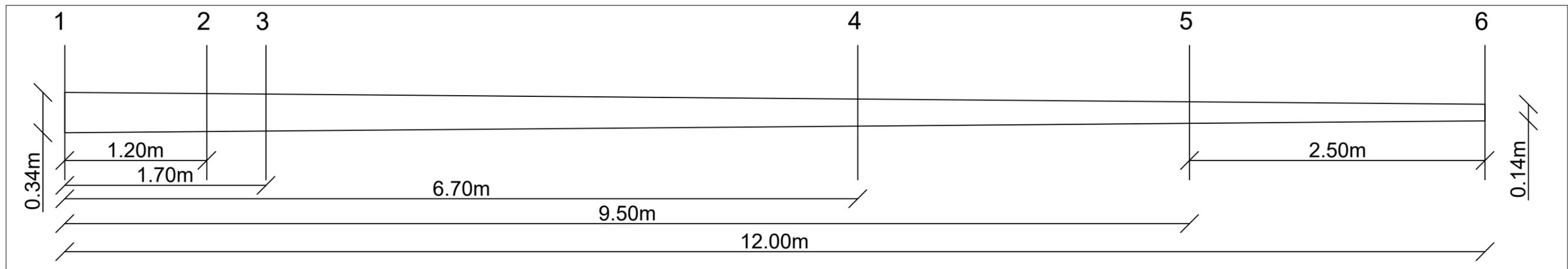
- $f'c=400 \text{ kg/cm}^2$
- $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{py}= 17200 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{pu}= 19000 \text{ kg/cm}^2$

**CARGA DE DISEÑO: 400 kg a 20 cm de punta**

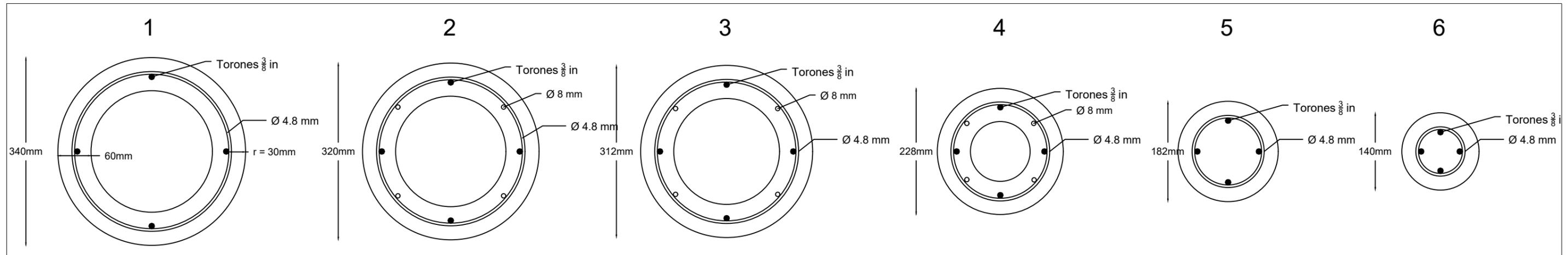


**DETALLE REFUERZO TRANSVERSAL**  
**ESCALA 1:30**

<b>UNIVERSIDAD DE CUENCA</b> <b>Facultad de Ingeniería</b>		
Trabajo de titulación: "Diseño de Postes de Transmisión Eléctrica en Hormigón Pretensado"		
PLANO DE: Poste circular 10 m		
ESTUDIANTES: Márquez Pedro Mendieta Juan Pablo		REVISADO POR:  Ing. Fabián Carrasco Mc.S.
FECHA: Cuenca, 17 de Octubre del 2016	Escala: Las indicadas	Lámina: 1/4



**VISTA LATERAL POSTE CIRCULAR 12 m**  
**ESCALA 1:35**



**DETALLE DE SECCIONES PUNTOS 1 - 4**  
**ESCALA 1:7**

**COMENTARIO:**

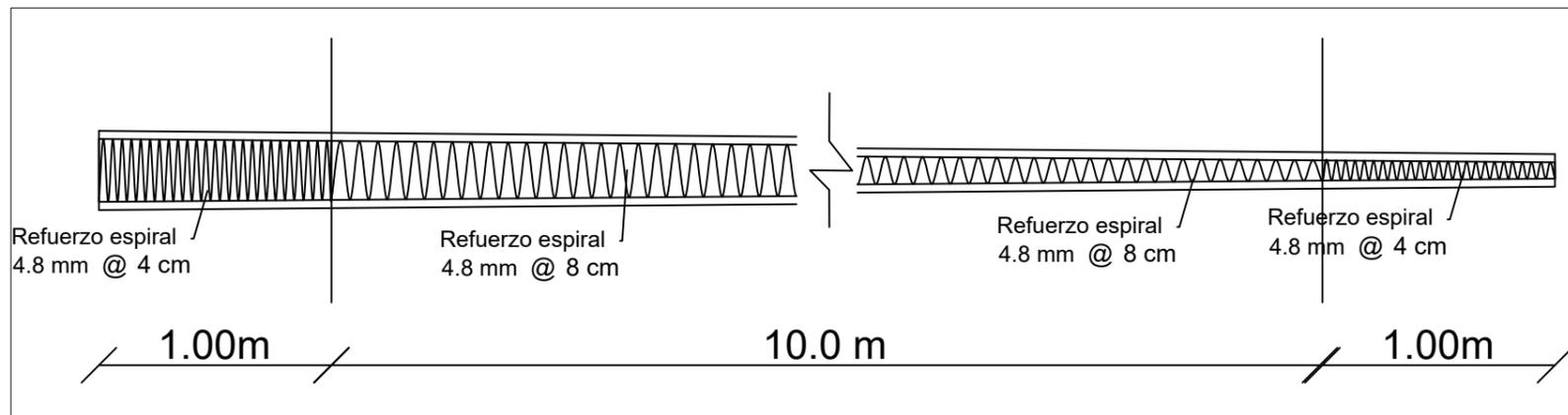
- 1: Base
  - 2: Refuerzo acero pasivo
  - 3: Sección crítica (EMPOTRAMIENTO)
  - 4: Corte refuerzo pasivo
  - 5: Inicio sección maciza
  - 6: Punta
- Tramo 5-6 : Sección maciza

**REGLAMENTO:** ACI 318S-14,  
PCI DESIGN HANDBOOK 7th edition

**MATERIALES:**

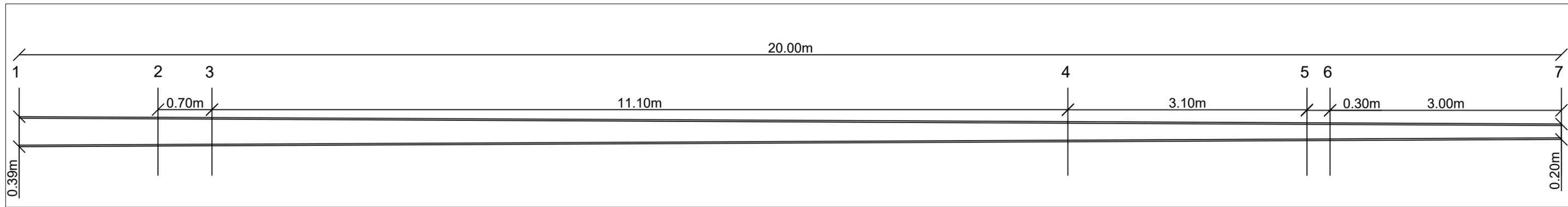
- $f'_c=400 \text{ kg/cm}^2$
- $f_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{py}= 17200 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{pu}= 19000 \text{ kg/cm}^2$

**CARGA DE DISEÑO:** 500 kg a 20 cm de punta

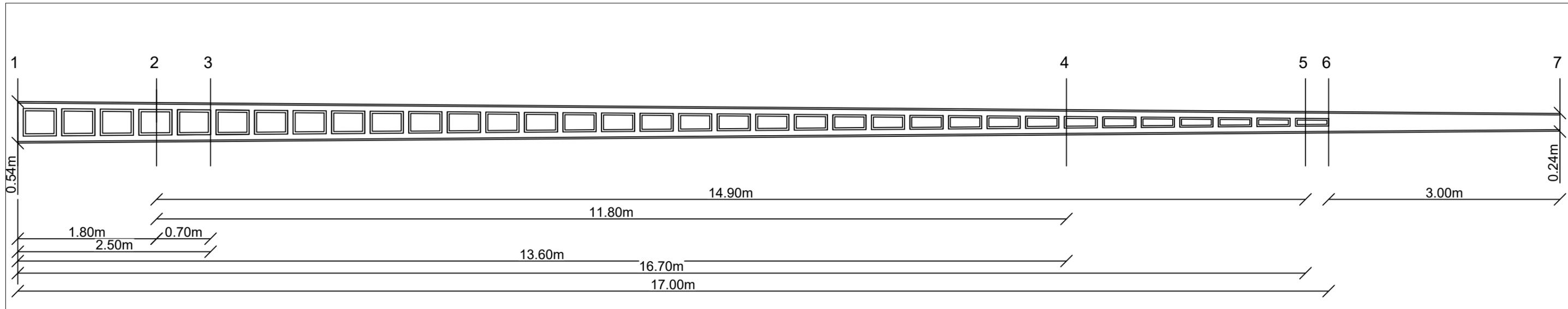


**DETALLE REFUERZO TRANSVERSAL**  
**ESCALA 1:30**

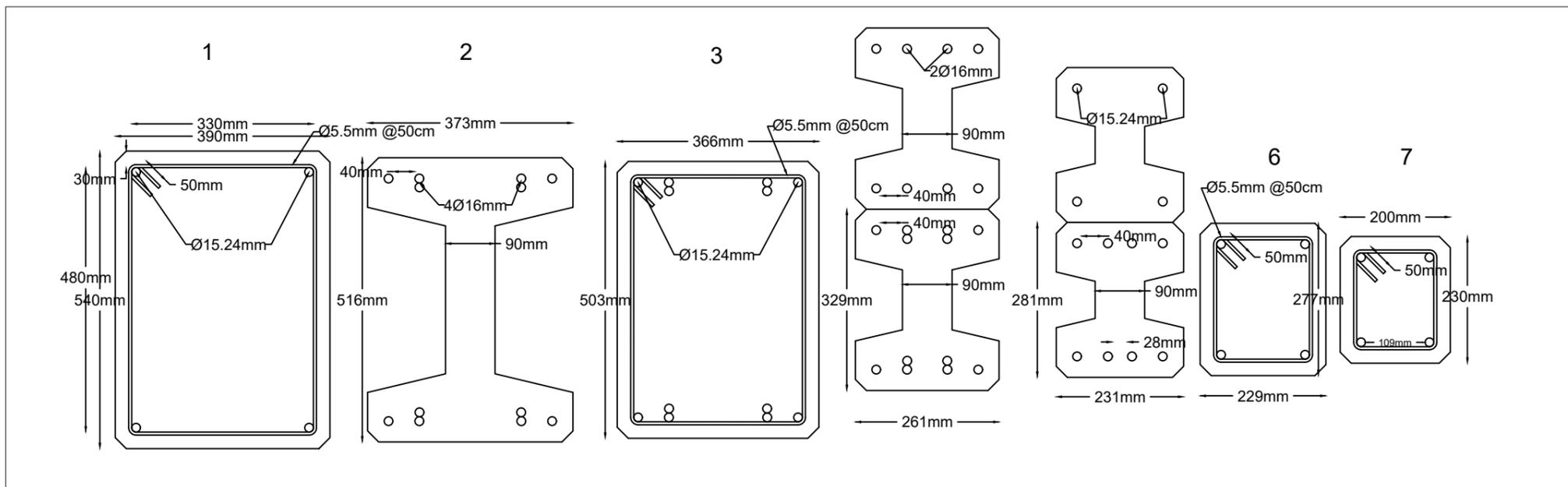
<b>UNIVERSIDAD DE CUENCA</b>		
Facultad de Ingeniería		
Trabajo de titulación: "Diseño de Postes de Transmisión Eléctrica en Hormigón Pretensado"		
PLANO DE: Poste circular 12 m		
ESTUDIANTES: Márquez Pedro Mendieta Juan Pablo		REVISADO POR:  Ing. Fabián Carrasco Mc.S.
FECHA: Cuenca, 17 de Octubre del 2016	Escala: Las indicadas	Lámina: 2/4



**VISTA LATERAL MENOR POSTE TIPO H 20 m**  
**ESCALA 1:50**



**VISTA LATERAL MAYOR POSTE TIPO H 20 m**  
**ESCALA 1:50**



**DETALLE DE SECCIONES**  
**ESCALA 1:10**

**COMENTARIO**

- 1: Base
  - 2: Refuerzo acero pasivo
  - 3: Sección crítica (EMPOTRAMIENTO)
  - 4: Primer corte refuerzo pasivo
  - 5: Segundo corte refuerzo pasivo
  - 6: Inicio sección maciza
  - 7: Punta
- Tramo 6-7 : Sección maciza

**REGLAMENTO:** ACI 318S-14, PCI DESIGN HANDBOOK 7th edition

**MATERIALES:**

- $f_c = 400 \text{ kg/cm}^2$
- $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{py} = 17200 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{pu} = 19000 \text{ kg/cm}^2$

**CARGA DE DISEÑO:** 2400 kg a 20 cm de punta

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**Facultad de Ingeniería**

Trabajo de titulación: "Diseño de Postes de Transmisión Eléctrica en Hormigón Pretensado"

**PLANO DE: Poste tipo H 20 m**

**ESTUDIANTES:**

Márquez Pedro  
Mendieta Juan Pablo

**REVISADO POR:**

Ing. Fabián Carrasco Mc.S.

**FECHA:**

Cuenca, 17 de Octubre del 2016

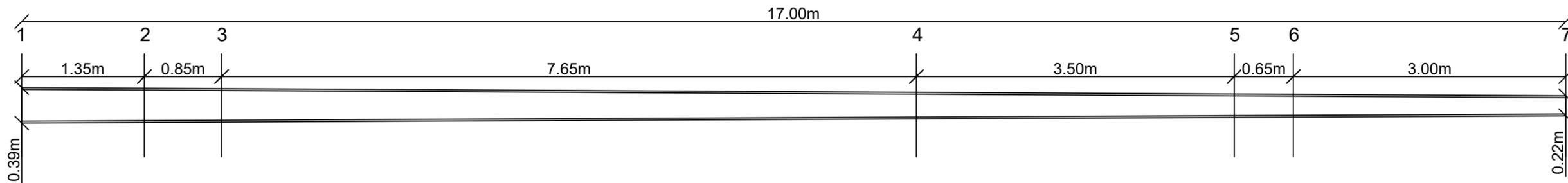
**Escala:**

Las indicadas

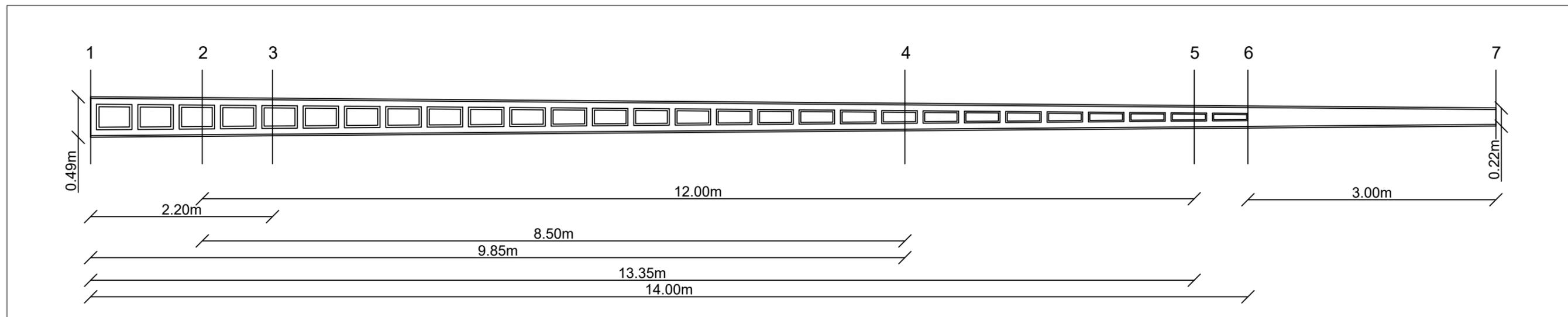
**Lámina:**

3/4

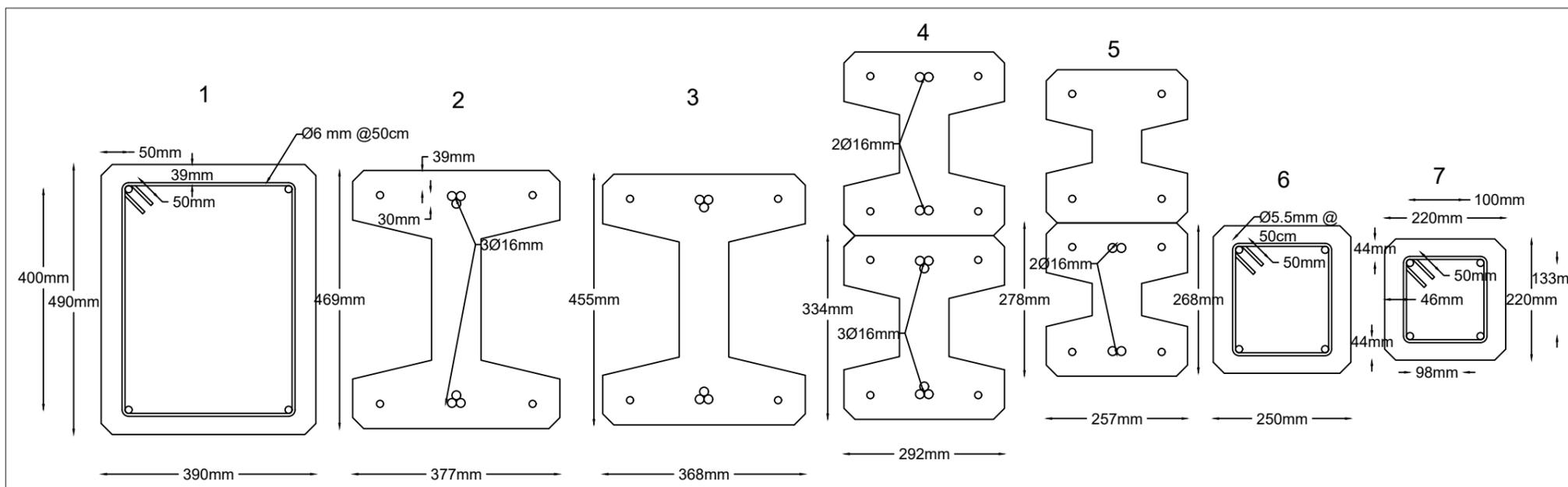
Juan Pablo Mendieta Correa  
Pedro José Márquez Pesantez



**VISTA LATERAL MENOR POSTE TIPO H 17 m**  
**ESCALA 1:50**



**VISTA LATERAL MAYOR POSTE TIPO H 17 m**  
**ESCALA 1:50**



**DETALLE DE SECCIONES**  
**ESCALA 1:10**

**COMENTARIO**

- 1: Base
  - 2: Refuerzo acero pasivo
  - 3: Sección crítica (EMPOTRAMIENTO)
  - 4: Primer corte refuerzo pasivo
  - 5: Segundo corte refuerzo pasivo
  - 6: Inicio sección maciza
  - 7: Punta
- Tramo 6-7 : Sección maciza

**REGLAMENTO:** ACI 318S-14, PCI DESIGN HANDBOOK 7th edition

**MATERIALES:**

- $f'_c = 400 \text{ kg/cm}^2$
- $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{py} = 17200 \text{ kg/cm}^2$
- $f_{pu} = 19000 \text{ kg/cm}^2$

**CARGA DE DISEÑO:** 2000 kg a 20 cm de punta

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**Facultad de Ingeniería**

Trabajo de Titulación: "Diseño de Postes de Transmisión Eléctrica en Hormigón Pretensado"

**PLANO DE: Poste tipo H 17 m**

**ESTUDIANTES:**

Márquez Pedro  
Mendieta Juan Pablo

**REVISADO POR:**

Ing. Fabián Carrasco Mc.S.

**FECHA:**

Cuenca, 17 de Octubre del 2016

**Escala:**

Las indicadas

**Lámina:**

4/4



### 9.3 ANEXO 3: Tablas del PCI para pérdidas

**Tabla A 2. 1 Fluencia Plástica y Retracción en 1E6**

Resistencia del hormigón al destensar los cables = 250 kg/cm<sup>2</sup>  
 Esfuerzo promedio en el hormigón por el pretensado = 42 kg/cm<sup>2</sup>  
 Humedad Relativa = 70 %  
 Relación Volumen/Superficie = 3,8 cm

Tiempo Días	Fluencia Plástica Hormigón Peso Normal	Retracción	
		Curado Húmedo	Curado Acelerado
1	29	16	9
3	51	44	26
5	65	70	43
7	76	93	58
9	86	115	72
10	90	124	78
20	118	204	136
30	137	258	180
40	150	299	215
50	161	329	243
60	169	354	266
70	177	373	286
80	183	390	302
90	188	403	317
100	193	415	329
200	222	477	400
365	244	511	443
1095	273	543	486
1825	283	549	495
36500	315	560	510



**Tabla A 2.2 Factores de corrección para flujo plástico, debido a la resistencia del hormigón y al esfuerzo promedio de destensado:**

Esfuerzo promedio en el hormigón por el pretensado P/A (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia del hormigón al momento del destensado f'c (kg/cm <sup>2</sup> )						
	175	210	250	280	320	350	420
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,39	0,36	0,33	0,31	0,29	0,28	0,25
28	0,79	0,72	0,67	0,62	0,59	0,56	0,51
42	1,18	1,08	1,00	0,94	0,88	0,84	0,76
56	1,58	1,44	1,33	1,25	1,18	1,12	1,02
70	1,97	1,80	1,67	1,56	1,47	1,39	1,27
85	2,37	2,16	2,00	1,87	1,76	1,67	1,53
99	2,76	2,52	2,33	2,18	2,06	1,95	1,78
113		2,88	2,67	2,49	2,35	2,23	2,04
127		3,24	3,00	2,81	2,65	2,51	2,29
141			3,12	3,12	2,94	2,79	2,55
155				3,43	3,23	3,07	2,80
169				3,74	3,53	3,35	3,06
183					3,82	3,63	3,31
197						3,90	3,56
211						4,18	3,82

**Tabla A2.3 Factores de corrección debido a la humedad relativa:**

Humedad Relativa Ambiental Promedio	Retracción	
	Fluencia Plástica	
40	1,250	1,430
50	1,170	1,290
60	1,080	1,140
70	1,000	1,000
80	0,920	0,860
90	0,830	0,430
100	0,750	0,000


**Tabla A 2.4 Factores de corrección por la relación Volumen/Superficie (V/S):**

Tiempo Días	Retracción Volumen/ Superficie (cm)						Flujo Plástico Volumen/ Superficie (cm)					
	2,54	5,08	7,62	10,16	12,70	15,24	2,54	5,08	7,62	10,16	12,70	15,24
1	1,30	0,78	0,49	0,32	0,21	0,15	1,25	0,80	0,50	0,31	0,19	0,11
3	1,29	0,78	0,50	0,33	0,22	0,15	1,24	0,80	0,51	0,31	0,19	0,11
5	1,28	0,79	0,51	0,33	0,23	0,16	1,23	0,81	0,52	0,32	0,20	0,12
4	1,28	0,79	0,51	0,34	0,23	0,16	1,23	0,81	0,52	0,33	0,20	0,12
9	1,27	0,80	0,52	0,35	0,40	0,17	1,22	0,82	0,53	0,34	0,21	0,12
10	1,26	0,80	0,52	0,35	0,24	0,17	1,21	0,82	0,53	0,34	0,21	0,13
20	1,23	0,82	0,56	0,39	0,27	0,19	1,19	0,84	0,57	0,37	0,23	0,14
30	1,21	0,83	0,58	0,41	0,30	0,21	1,17	0,85	0,59	0,40	0,26	0,16
40	1,20	0,84	0,60	0,44	0,32	0,23	1,15	0,86	0,62	0,42	0,28	0,17
50	1,19	0,85	0,62	0,46	0,34	0,25	1,14	0,87	0,63	0,44	0,29	0,19
60	1,18	0,86	0,64	0,48	0,36	0,26	1,13	0,88	0,65	0,46	0,31	0,20
70	1,17	0,86	0,65	0,49	0,37	0,28	1,12	0,88	0,66	0,48	0,32	0,21
80	1,16	0,87	0,66	0,51	0,39	0,29	1,12	0,89	0,67	0,49	0,34	0,22
90	1,16	0,87	0,67	0,52	0,40	0,31	1,11	0,89	0,68	0,50	0,50	0,23
100	1,15	0,87	0,68	0,53	0,42	0,32	1,11	0,89	0,69	0,51	0,36	0,24
200	1,13	0,90	0,74	0,61	0,51	0,42	1,08	0,92	0,75	0,59	0,44	0,31
365	1,11	0,91	0,77	0,67	0,58	0,50	1,07	0,93	0,79	0,64	0,50	0,38
1095	1,10	0,92	0,81	0,73	0,67	0,62	1,06	0,94	0,82	0,71	0,59	0,47
1825	1,10	0,92	0,82	0,75	0,70	0,66	1,06	0,94	0,83	0,72	0,61	0,49
Final	1,09	0,93	0,83	0,77	0,74	0,72	1,05	0,95	0,85	0,75	0,64	0,54



## 9.4 ANEXO 4: Dimensiones de los cofres

DIMENSIONES PARA COFRES (milímetros)							
LADO MENOR					LADO MAYOR		Cantidad
	CARA MAYOR	CARA MENOR					
H	A1	A	B1	B	C1	C	
134	294,81	359	289	353	366	430	2
132	288,32	351	283	345	367	430	2
130	281,83	344	276	338	368	430	2
127	275,34	336	270	330	369	430	2
125	268,85	329	263	323	370	430	2
123	262,37	321	257	315	371	430	2
121	255,88	314	250	308	372	430	2
119	249,39	306	244	300	373	430	2
117	242,90	299	237	293	374	430	2
115	236,41	291	231	285	375	430	2
113	229,93	284	224	278	376	430	2
110	223,44	276	218	270	377	430	2
108	216,95	269	211	263	378	430	2
106	210,46	261	205	255	379	430	2
104	203,97	254	198	248	380	430	2
102	197,48	246	192	240	381	430	2
100	191,00	239	185	233	382	430	2
98	184,51	231	179	225	383	430	2
96	178,02	224	172	218	384	430	2
93	171,53	216	166	210	385	430	2
91	165,04	209	159	203	386	430	2
89	158,56	201	153	195	387	430	2
87	152,07	194	146	188	388	430	2
85	145,58	186	140	180	389	430	2
83	139,09	179	134	173	390	430	2
81	132,60	171	127	165	391	430	2
79	126,12	164	121	158	392	430	2
76	119,63	156	114	150	393	430	2
74	113,14	149	108	143	394	430	2
72	106,65	141	101	135	395	430	2
70	100,16	134	95	128	396	430	2
68	93,68	126	88	120	397	430	2
66	87,19	119	82	113	398	430	2
64	80,70	111,45	75	105	399	430	2

## 9.5 ANEXO 5: Proceso de fabricación

### Construcción del encofrado para aliviamiento



Corte de planchas



Doblado de cajas



Aliviamiento terminado



- a) Armar una base lisa metálica para soldar los cofres metálicos,
- b) Trazado de ejes y líneas laterales sobre la base
- c) Ubicación de los cofres con puntos de suelda



Colocación de placas y separadores a lo largo de la bancada





Colocación y tensado de cables



Armado de los estribos



Colocar acero pasivo





Ubicación de los paneles laterales

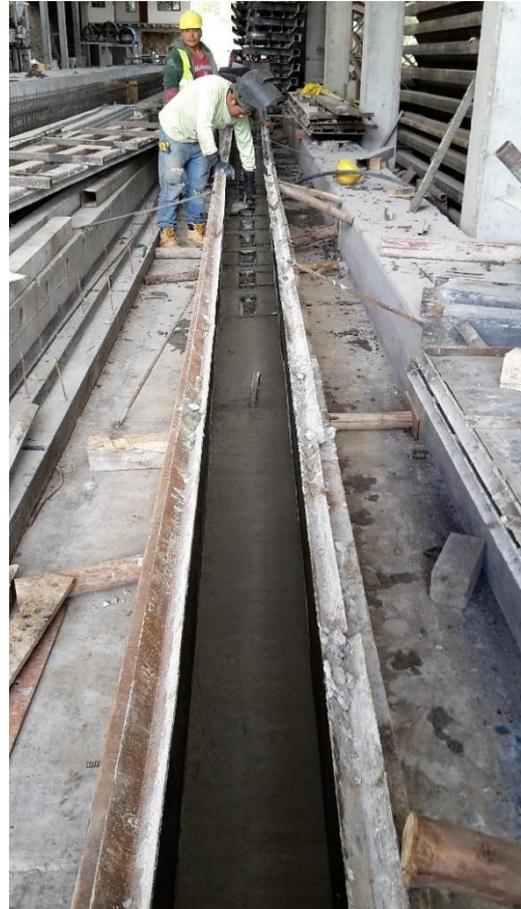
Colocación de los cofres superiores



Engrasado de todos los elementos



Hormigonado



Cortado de cables



Desencofrado





## 9.7 ANEXO 6: Ensayo

Empotramiento, 2,2 m según la longitud de empotramiento dada por la norma INEN



Apoyos móviles para desplazamiento horizontal



Deflexión



Fisura (carga de trabajo = 0,1 mm)





Falla por condiciones de empotramiento

