



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERIA
INGENIERÍA CIVIL- ESPECIALIDAD EN CONSTRUCCIÓN URBANA**

**PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE ELEMENTOS DE PRESFUERZO PARA EL
TRAMO III DEL TREN INTERURBANO MÉXICO-TOLUCA.**

T E S I N A

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
ESPECIALISTA EN CONSTRUCCIÓN URBANA**

P R E S E N T A

MARCOS BARRIOS CHÁVEZ

ASESOR:

ING. JUAN LUIS COTTIER CAVIEDES

Ciudad de México, Septiembre 2017



**PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE ELEMENTOS DE PRESFUERZO PARA EL TRAMO
III DEL TREN INTERURBANO MÉXICO-TOLUCA.**

Í N D I C E

	Página
A.- Introducción	4
B.- Objetivo	5
C.-Necesidades de transporte entre ciudad de México y el Estado de México	6
D.- Plan maestro del Tren Interurbano México-Toluca	7
D.1 Aspectos generales	7
D.2 Aspectos técnicos	12
1.- Antecedentes de PRET	16
2.- Planta PRET “La Arboleda”	18
2.1 Ubicación geografica	18
2.2 Moldes y productos	20
2.3 Volúmenes de producción	23
2.4 Equipos	23
2.5 Proceso.....	26
3.- Temas generales de Estructuración en elementos presforzados	30
3.1 Generalidades	30
3.2 Pretensado y Postensado	34
4.- Conceptos básicos de materiales para concreto presforzado	36
4.1 Concreto	36
4.2 Aguas de mezclado	44
4.3 Aditivos	47
4.4 Acero de refuerzo	48
4.5 Acero de presfuerzo	52

4.6 Elementos y dispositivos especiales	53
5.- Procesos generales de fabricación, estiba y transporte de elementos presforzado.....	55
5.1 Prerrequisitos	55
5.2 Limpieza de área y molde	56
5.3 Trazo y nivelación topográfica	57
5.4 Acero de refuerzo	57
5.5 Acero de presfuerzo	61
5.6 Accesorios	62
5.7 Engrases	63
5.8 Colocación de placas guía, tapones y tacones para trabe	63
5.9 Enhebrado de cable	64
5.10 Tensado de cable longitudinal	65
5.11 Cimbra de aligeramiento	67
5.12 Armado de losa o firmes de compresión	67
5.13 Dosificación de la mezcla	67
5.14 Colado	68
5.15 Curado a vapor	69
5.16 Muestreo	71
5.17 Extracción	73
5.18 Estibado o almacenamiento	74
5.19 Detallado del elemento	75
5.20 Revisión de tolerancias	76
5.21 Carga	76
5.22 Transporte	77
Conclusión.....	79
Bibliografía	80

A. INTRODUCCIÓN

Hoy en día en la industria de la construcción, uno de los retos que sobresale de los problemas por resolver, es la ejecución de proyectos en el menor tiempo posible, efectuado altos controles de calidad en los materiales y reduciendo costos en el balance total de la obra. Llevar a cabo este conjunto de procesos, se ha estudiado a lo largo de la historia; sin embargo, no es hasta finales del siglo XX en donde la ciencia en conjunto con la tecnología, ha desarrollado elementos capaces de alcanzar las exigencias que actualmente requieren la mayoría de los proyectos en el mundo. Dichos elementos son conocidos como elementos prefabricados, los cuales tienen como principal característica el ser elaborados en tiempos muy reducidos, lo que facilita una fabricación en serie y a los cuales se les puede otorgar características especiales que les permita ser sometidos a cargas extremas sin aumentar el tamaño de su sección, ni sobre reforzarlos internamente con acero u algún otro material.

México es uno de los países que ha empleado esta tecnología para elaborar cientos de estructuras que resalten la ingeniería del país en beneficio de su sociedad.

Proyectos como el Túnel Emisor Oriente, Hipódromo las Américas, Segundo piso del Periférico, Autopista Corredor Norte, Distribuidor Vial Zaragoza, Centro Nacional de Investigaciones de los Cabos, son solo algunos de aquellos proyectos que fueron ejecutados con una planeación estratégica fundamentada en la implementación de elementos prefabricados.

Sin embargo, llevar a cabo los proyectos en tiempo y forma no sería posible, sin una gerencia que delimite los alcances y los rendimientos que realmente sucederán en la obra, respaldados por un exigente control de calidad en los procesos constructivos, con la correcta aplicación de insumos, herramientas y maquinaria diseñadas con tecnología de punta y por supuesto, un capital humano altamente capacitado.

B. OBJETIVO

El objetivo general de este caso práctico comprende en primera instancia:

Fortalecer el conocimiento del ingeniero civil acerca de la fabricación, estiba, transporte y montaje de elementos presforzados, proporcionando información del control de procesos global empleado en la planta PRET la Arboleda, hasta su montaje en el cadenamamiento correspondiente del tramo III del tren interurbano México-Toluca.

Se destacan como objetivos particulares del presente trabajo los siguientes puntos:

- Informar los aspectos generales y técnicos que fundamentan el proyecto del tren Interurbano México-Toluca y los beneficios que nos otorga su plan maestro.
- Dar a conocer los requerimientos básicos con los que cuenta la planta de prefabricados PRET la Arboleda.
- Exponer los requerimientos mínimos necesarios para certificar la calidad del concreto empleado para el colado de elementos presforzados.
- Definir de manera general los procedimientos comunes ejecutados para realizar el habilitado del acero, colado y curado del concreto en los elementos presforzados.
- Establecer las medidas técnicas obligatorias para el tensado de los elementos y dar a conocer los dispositivos y equipos necesarios para esta actividad.
- Conocer la normativa y certificaciones utilizada en la construcción de elementos presforzados.
- Proporcionar información técnica de equipos utilizados para fabricación de concreto y transporte de los elementos.
- Otorgarle al lector del trabajo, las consideraciones de planeación necesarias previo a la requisición de los elementos y posterior a su fabricación.

Con estos puntos se pretende invitar al futuro fabricante y constructor, a adentrarse en los beneficios que proporcionan los elementos presforzados y con esto, fijar a su criterio una comparación con la construcción tradicional, con la finalidad de generar proyectos de alta calidad al menor costo y tiempo posible.

Al llegar al desarrollo del trabajo se expondrán algunas recomendaciones que se pueden llevar a cabo en planta y en sitio, para mejorar el proceso de fabricación y montaje de dichos elementos; con la finalidad de reducir los accidentes y las pérdidas materiales por falta a los seguimientos de estándares de calidad.

C. NECESIDADES DE TRANSPORTE ENTRE CIUDAD DE MÉXICO Y EL ESTADO DE MÉXICO

A lo largo de la historia de la Ciudad de México y el Estado de México, se ha buscado la manera de intercomunicar estas dos capitales mediante obras de infraestructura, intentando reducir los tiempos elevados de traslados producidos por rutas complicadas y lejanas; sin embargo, estas alternativas generadas pueden resultar costosas e inestimables para los ciudadanos de ambas fronteras. Esto sin mencionar que el tiempo de recorrido de un punto a otro ha aumentado considerablemente con el incremento geodemográfico en ambas partes del país y su directa relación con la creciente tasa de desempleo y la búsqueda por mejores oportunidades. Actualmente existen diferentes posibilidades de trasladarse en automóvil desde la Ciudad de México a diferentes municipios del Estado de México como Metepec, Toluca, Ocoyoacac, Lerma, entre otros, mediante carreteras y vías alternas de peaje como se menciona a continuación:

- **Desde el Norte de la Ciudad de México**
 - 1) Carretera México 57D (Pasando por Eje Central y Av. Lázaro Cárdenas)
 - 2) Libramiento ruta de la independencia Bicentenario (México A-6D)
 - 3) Carretera México-Toluca (México 57D)
 - 4) Autopista México-Marquesa
- **Desde el Sur de la Ciudad de México**
 - 1) Autopista México-Marquesa (Supervía y Av. de los Poetas)
- **Desde el Poniente de la Ciudad de México**
 - 1) Carretera México-Toluca (México 57D)
- **Desde el Oriente de la Ciudad de México**
 - 1) Carretera México-Toluca (México 57D)

Según datos oficiales por la INEGI hasta la última encuesta intercensal elaborada en el 2015, se demuestra que solo el 43.5% de habitantes de la Ciudad de México cuenta con automóvil, esto implica que el resto de la población debe viajar alrededor de la ciudad a través de transporte público.

Afortunadamente para la población sin automóvil propio, la Ciudad de México cuenta con dos sistemas de transporte eficientes que reciben los nombres de “STC Metro y Metrobus”. Estos dos modos de transporte son considerados por muchos la mejor manera de transportarse en esta ciudad tan caótica. Otro punto importante es mencionar que el Metro, fue diseñado para transportar a 3 millones de personas diariamente; sin embargo, hoy en día rebasa su servicio a casi el doble con un cupo de 5.5 millones de personas diarias.

Lamentablemente el transporte público que permite conectar al Valle de México con el Estado de México es muy escaso, contando en la actualidad únicamente con el “Tren Suburbano” que permite comunicar a la Ciudad con algunos municipio cercanos del Estado vecino como: Tlalnepantla, Atizapán, Tultitlan, Cuautitlán y Cuautitlán Izcalli.

D. PLAN MAESTRO DEL TREN INTERURBANO MÉXICO-TOLUCA

D.1 Aspectos generales

De acuerdo al programa estratégico de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes se considera que el proyecto del Tren eléctrico Interurbano México-Toluca será el primero en su género en América Latina, permitirá incrementar el transporte de pasajeros igual al de ciudades como Londres, Ámsterdam, Chicago, Nueva York, Madrid, entre otras grandes urbes que se interconectan utilizando uno de los modos más eficientes en los últimos siglos “el modo ferroviario”.

Este avance de infraestructura beneficiará a más de 2 millones de habitantes de los municipios de Toluca, Metepec, San Mateo Atenco, Lerma, Ocoyoacac; así como a las delegaciones de Miguel Hidalgo, Cuajimalpa, Álvaro Obregón. Además, interconectará a la Ciudad de México desde la estación Observatorio de la línea 1 del Sistema de Transporte Metro.

El recorrido parte de la estación multimodal Observatorio en donde, además de conectar con la línea 1 del metro, permite la vinculación con la central camionera y las líneas 12 y 9.

El tren continúa sobre barranca río Tacubaya llegando a la estación Santa Fe, continuando en forma paralela a la autopista de cuota México-Toluca llegando al Bitúnel, que tiene alrededor de 4.6 kilómetros de longitud y cruza por debajo del cerro de las Cruces. Posteriormente, se incorporará siguiendo la Av. de las Torres para llegar a la estación Lerma y permitirá desde ahí arribar a la estación Metepec o también conocida como Aeropuerto, que otorguen el servicio de llevar al usuario a la terminal aérea de Toluca.

Su próxima estación tiene por nombre Terminal de Autobuses, donde se interconectará con la terminal de autobuses de la Capital. El trayecto llega a su fin en la terminal Zinacantepec.

El proyecto dio inicio el pasado 7 de julio del 2014 y su duración aproximada de construcción tentativamente estaba planeada para finales del 2017. Hoy en día se sabe que existe un retraso significativo que podría ampliar la entrega del proyecto para el 2018.

El presupuesto del proyecto establecido en primera instancia estaba catalogado que sería por un monto de 42 mil 721 millones 570 mil 423 pesos; sin embargo, debido al constante incremento sobre el costo de insumos, así como el incremento en el costo de los trenes por motivos de depreciación, propició un incremento en la inversión de casi el 14 % llegando a la cifra de 48 mil 527 millones 703 mil 538 pesos.

Procedimiento constructivo

Para poder ejecutar la construcción de este proyecto, se dividió en tres tramos a lo largo de todo el trayecto, siendo importante mencionar que cada uno de los tramos fue concesionado por una empresa particular, como se menciona a continuación:

Tramo I (Zinacantepec – La Marquesa)

Comienza desde la estación terminal Zinacantepec, a la entrada poniente al túnel bajo la Sierra de las Cruces o como también se le conoce “Portal poniente”, abarca desde el cadenamiento km 0+000.00 al km 36+150.00. Este proyecto fue asignado a la asociación entre las compañías *La Peninsular Compañía Constructora* y *Constructora de Proyectos Viales de México*. El tramo cuenta con aproximadamente 36.17 km de infraestructura, donde alrededor 29.5 km son de tramo elevado y el restante de tramo superficial. En este tramo se incluye la cochera principal de Zinacantepec que aloja todos los trenes que estarán fuera de servicio o en mantenimiento.

Su construcción requirió el retiro de torres eléctricas e instalación de postes troncocónicos, retiro de torres de alta tensión, retiro de cable conductor y la construcción de la cimentación de nuevos postes de alta tensión para su posterior montaje.

Tramo II (Bitunel)

El tramo II abarca únicamente el túnel bajo la Sierra de las Cruces, cuenta con una longitud de 4.70 km y el cual sería a cargo de ICA por medio de su empresa subsidiaria Construcciones y Trituraciones S.A de C.V.

Sin duda es el tramo más complicado, ya que se realiza una excavación mecanizada por medio de tuneladora del tipo TBM de diámetro exterior de 8.56 m y diámetro interior de 7.50 m. La cual cuenta con un sistema de revestimiento primario conformado por dovelas.

Tramo III (Bitunel- Observatorio)

El último tramo parte desde la entrada oriente del túnel bajo la Sierra de las Cruces hasta su estación terminal observatorio. Este tramo queda adjudicado a la participación conjunta Caabsa Constructora, S.A. de C.V con Prefabricados y Transportes , S.A. de C.V., Cargo Crane, S.A. de C.V., Grupo Corporativo Amodher, S.A. de C.V., Omega Construcciones Industriales, S.A. de C.V., y González Soto y Asociados, S.A. de C.V., al presentar en la licitación pública federal N° LO-909005989-N9-2014 la proposición en el acto de presentación y apertura de proposiciones celebrada el día 05 de diciembre de 2014 un monto por \$8,988'169,822.00 + IVA.

Dicho tramo ya corresponde a la Ciudad de México y en donde se incluye el viaducto elevado que atravesará Santa Fe con un total de 17 km de construcción.

Debido a que este trabajo hace mayor énfasis a este tramo, se mencionarán aspectos más detallados como las modificaciones al proyecto y el seguimiento de los avances ejecutados en los elementos prefabricados que se solicitaron para la construcción del Tren México-Toluca.

Actualmente el proyecto cuenta con un avance de obra civil del 20% debido principalmente a modificaciones al trazo inicial. Anteriormente el tren se pretendía correr desde la estación Observatorio, recorriendo Santa Fe por Vasco de Quiroga hasta Camino Real a Toluca que abarca alrededor de 9 km. Sin embargo, debido a protestas por residentes de la zona por afectaciones futuras que el Tren podría causar a esa comunidad, su trazo total del proyecto se

alteró hasta con 4.3 km de su ruta original y ahora pasará sobre barranca del río Tacubaya y metro Observatorio, cruzando por predios federales pertenecientes a la Secretaría de la Defensa Nacional y la Comisión Nacional del Agua.

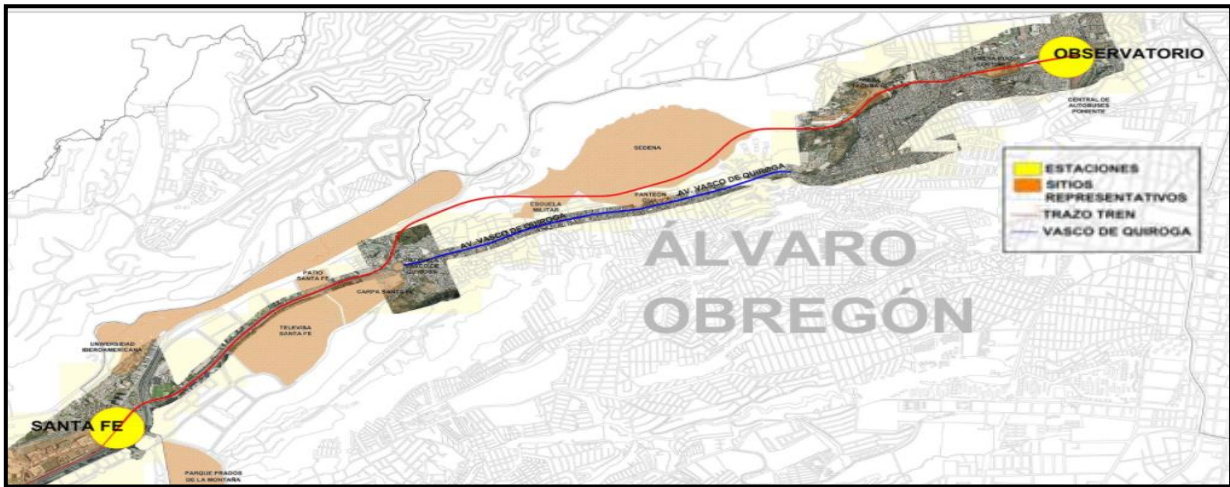


Figura 1. Cambio de trazo en tramo III del Tren Interurbano México-Toluca.

Los establecidos en la adjudicación del tramo III comprende la construcción y obras complementarias para el viaducto elevado, los trabajos están localizados específicamente en los cad 41+150 (salida del portal oriente del túnel y 57+792 estación Observatorio del metro L-1), los cad referidos al proyecto del tren, incluye la construcción de las dos estaciones de pasajeros Santa Fe (Entre los cad 49+105 al 48+305) y observatorio (entre los cad 57+551 al 57+751), así como las cocheras del tren y dos viaductos singulares llamados Santa Fe (Entre los cad 49+312 al 49+636) y Tacubaya (entre los cadenamientos 56+219 al 56+381).

Actualmente se lleva el siguiente avance en cada uno de los viaductos y las dos estaciones:

Avance de Obra Viaducto 2 Tramo III						Avance de Obra Viaducto 3 Tramo III					
Concepto	Totales	A Ejecutar	Ejecutadas	% Con respecto a ejecutar	Avance Semanal	Concepto	Totales	A Ejecutar	Ejecutadas	% Con respecto a ejecutar	Avance Semanal
Pila	2626	934	404	43.255		Pila	2626	258	171	66.279	
Zapata	443	154	26	16.883		Zapata	443	46	19	41.304	
Columna	442	154	7	4.545		Columna	442	46	11	23.913	
Capitel	427	145	6	4.138		Capitel	427	42	2	4.762	
Trabe	682	262	10	3.817		Trabe	682	84	0	0	

Avance de Obra Estación Santa Fe Tramo III						Avance de Obra Viaducto 4 Tramo III					
Concepto	Totales	A Ejecutar	Ejecutadas	% Con respecto a ejecutar	Avance Semanal	Concepto	Totales	A Ejecutar	Ejecutadas	% Con respecto a ejecutar	Avance Semanal
Pila	2626	163	158	96.933		Pila	2626	316	72	22.785	
Zapata	443	8	2	25.000		Zapata	443	46	0	0.000	
Columna	442	8				Columna	442	46			
Capitel	427					Capitel	427	46			
Trabe	682					Trabe	682	92			

Avance de Obra Viaducto 5 Tramo III					
Concepto	Totales	A Ejecutar	Ejecutadas	% Con respecto a ejecutar	Avance Semanal
Pila	2626	409	141	34.474	
Zapata	443	100	15	15.000	
Columna	442	100	9	9.000	
Capitel	427	100	2	2.000	
Trabe	682	178	0	0.000	

Tabla 1. Relación de avance del Tren Interurbano México-Toluca (Semestre 1-2017).

Rutas

El tren Interurbano México-Toluca, contara con 6 estaciones, 4 de ellas ubicadas en Estado de México y 2 pertenecientes a la Ciudad de México. A continuación se mencionará una breve descripción de cada una de las estaciones y su ubicación exacta.



Figura 2. Mapa de la Ubicación del Proyecto Tren Interurbano México-Toluca.

Estaciones

Estación Observatorio

La estación Observatorio se ubica sobre la Av. Río de Tacubaya, entre la Estación Observatorio del Metro de la Ciudad de México y la terminal central de autobuses del poniente, dentro de los límites de la delegación Álvaro Obregón. Es importante mencionar que en esta primera estación al ser una de las terminales del proyecto, fue contemplado en el diseño también una cochera o patio de maniobras para poder realizar las actividades de movilidad de los trenes.



Figura 3. Ubicación geográfica de Estación Observatorio.

Estación Santa Fe

La estación Santa Fe se localiza sobre el vaso regulador Totolapa entre las Av. Vasco de Quiroga y la Av. Prolongación Paseo de la Reforma dentro de los límites de la delegación Cuajimalpa, Ciudad de México.



Figura 4. Ubicación geográfica de Estación Santa Fe.

Estación Lerma

La estación Lerma se localiza en el cruce del bulevar Solidaridad las Torres y la Av. Benito Juárez García, municipio de Lerma en dirección hacia la Ciudad de México. Está constituida en su gran mayoría por infraestructura elevada.



Figura 5. Ubicación geográfica de Estación Lerma.

Estación Metepec

La estación Metepec, se localiza en el cruce del bulevar Solidaridad las Torres y la Av. Tecnológico en el municipio de Metepec, Estado de México.



Figura 6. Ubicación geográfica de Estación Metepec.

Estación Terminal de Autobuses

La estación Terminal de Autobuses se localiza en la intersección del bulevar Solidaridad las Torres, la Av. Isidro Fabela y la Av. José María Pino Suarez en el municipio de Toluca, Estado de México.



Figura 7. Ubicación geográfica de Estación Terminal de Autobuses.

Estación Zinacantepec.

En el municipio de Zinacantepec en predios cercanos a la Facultad de Medicina de la UAEM y Escuela Normal de Educación Física se localiza la zona de talleres y cocheras del Tren Interurbano. A Pocos kilómetros después, se encuentra la estación Zinacantepec, localizada sobre el bulevar Solidaridad las Torres entre las calles Parque desierto de Carne y Parque Otomí, en el municipio de Toluca, Estado de México.



Figura 8. Ubicación geográfica de Estación Zinacantepec.

D.2. Aspectos técnicos

Diseño

El tren México-Toluca al ser un proyecto de gran magnitud requirió de estudios preliminares que aseguraran el correcto diseño establecido, siguiendo reglamentos y normas de calidad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Su diseño no solo implicaba un estudio de impacto urbano y geotécnico, sino que también se aseguró de respetar al medio ambiente en todas las instancias del proyecto.

Cimentación

De acuerdo a estudios geotécnicos establecidos en cada uno de los cadenamientos en donde se fijó el trazo del proyecto, se realizaron diversas técnicas dependiendo las condiciones del terreno presente. En la gran mayoría de las estaciones, debido a la gran comprensibilidad de los suelos y la presencia de estratos resistentes a grandes profundidades, se optó por seguir un modelo de cimentación mixta para los tramos I y II, la cual está conformada por pilas de cimentación coladas in situ ancladas a zapatas, este proceso se llevó a cabo por perforadoras Kelly que permitieron alcanzar profundidades desde los 20 a 45 m. y diámetros desde 1.2 a 1.5 m. Una vez coladas las pilas se descabezaron para retirar el material contaminado y poder realizar las maniobras de anclaje de las zapatas para su posterior colado. Las dimensiones de las zapatas oscilan entre 7x7.5x2.3 m y 11.5x16x3.5 m dependiendo de las condiciones del terreno y el proyecto estructural.

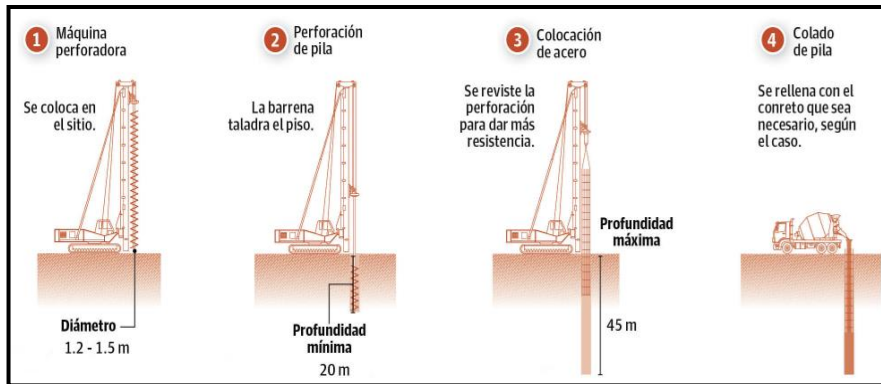


Figura 9. Procedimientos constructivos para pilas de cimentación.

Montaje de Elementos

A pesar de que más adelante se conocerán los principios básicos de carga y transporte de elementos presforzados, en este trabajo no se detallará acerca de los procesos de montaje de las piezas; sin embargo, es importante mencionar que para este gran proyecto, en algunos cadenamientos donde se montaron elementos prefabricados (debido a la dificultad de colado de miembros muy esbeltos), se utilizaron grúas telescópicas con lo que se logró posicionar las columnas que alcanzaban alturas desde los 10 m hasta los 75 m, separadas entre ellas aproximadamente 35 m; además, sobre ellas se colocaron pilares, capiteles y traveses que permitirían repartir las cargas de los trenes a esas alturas, así como faldones, prelosas y deflectores.

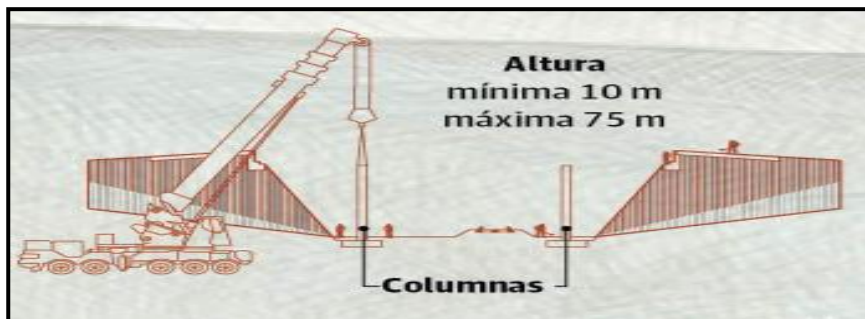


Figura 10. Procedimientos de montaje de columnas.

Trenes

El proyecto contará con una longitud total de 57.7 km que será transportado por trenes de última generación construidos por la empresa Española CAF que darán gran comodidad y seguridad a los 720 usuarios que ingresan al tren. Contará con aditamentos especiales como cámaras de seguridad, tubos de sujeción y espacios para un par de sillas de ruedas.

Se contará con 30 trenes compuestos por 5 vagones cada uno. Los trenes serán alimentados por catenaria y pantógrafo, en donde este último permite al tren eléctrico desde su parte superior del techo, tomar energía del tendido aéreo y de este modo lograr conseguir energía para romper su estado de inercia.

Los trenes contarán con dos velocidades de marcha, la velocidad máxima que alcanzará los 160 km/h y la velocidad comercial con la que serán transitados cada uno de los vagones serán de 90 km/h.

El sistema de frenado del tren será compuesto por tres mecanismos:

Freno neumático: son utilizados a la entrada de las estaciones y su sistema de discos se distribuye a todo lo largo del tren, actuando por un mecanismo de aire comprimido.

Freno eléctrico: además de ser suaves, tienen un sistema que permite a la planta motriz retener la velocidad a través de una corriente eléctrica inversa que retiene la velocidad de giro del motor.

Freno de emergencia: utilizado por operadores y usuarios en caso de cualquier emergencia, con un tiempo de respuesta eficiente.

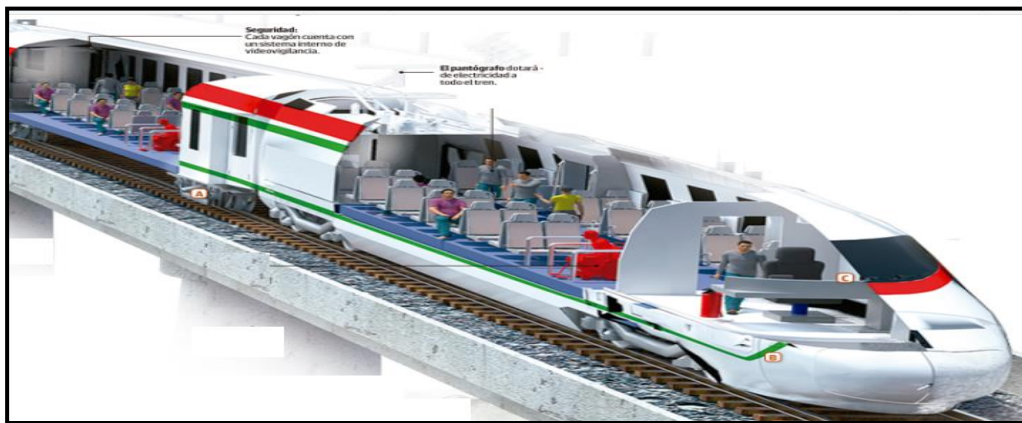


Figura 11. Corte de Vagón del Tren Inter Urbano México-Toluca.

D.2.2 Cuota y Movilidad

La forma en que se entrará a los andenes será con ayuda de tarjetas inteligentes colocadas en lectores de acceso, el usuario tiene la posibilidad de realizar recargas por medio de máquinas especiales de prepago y una vez realizado el cobro, el pasajero puede colocar su tarjeta en el lector para permitir al torniquete dar el movimiento de acceso.

Con base en información obtenida desde la página oficial del Tren interurbano, elaborada por el gobierno de la Ciudad de México, se estima que el trayecto que corresponde a la zona urbana desde Observatorio a Santa Fe, rondará en los 12 pesos; sin embargo, para los usuarios que así lo decidan el transporte de terminal Zinacantepec-Observatorio podría tener un costo de 80 pesos.

De acuerdo con las velocidades ya establecidas en el punto anterior, se estima que durante los primeros 5 años de operación del tren, el intervalo de tiempo de espera será de 6 minutos, existiendo la posibilidad de prever un ajuste con respuesta a un estudio de demanda de

transporte. Para el treceavo año de operación se solicitarán cuatro nuevos trenes, para satisfacer las necesidades de la población.



Figura 12. Prototipo para pago de tarifa.

D.2.3 Beneficios a la población

Además de satisfacer la demanda de 270,000 mil pasajeros diariamente, el tren México-Toluca permitirá proporcionar múltiples beneficios a la sociedad dentro de los cuales se mencionan los siguientes:

- Se lograrán tiempos de recorridos entre ambas capitales en tan solo 39 min, en donde este ahorro permitirá reducir los tiempos de traslado hasta 45 min y ganando horas/hombre que diariamente se pierden en traslados.
- Se generarán 17,000 empleos directos y 35,000 indirectos.
- Se logrará que al menos 200 mil vehículos/diarios dejen de circular por la zona.
- Se evitará la emisión de 27,827 toneladas de bióxido de carbono.
- Se ahorrará por concepto de tiempos de viajes hasta 4, 400 millones de pesos.

1. ANTECEDENTES DE PRET

Actualmente la empresa Prefabricados y Transportes SA. De C.V. (PRET) es una de las tantas compañías que pertenecen al consorcio de ICA. Se considera como una de las empresas líderes en la construcción de elementos prefabricados en todo el país y parte de América Latina: desarrolla trabajos con tecnología de punta y procesos de calidad estrictamente controlados. Su alianza con ICA permitió el crecimiento a lo largo de la República y hoy en día es una de las empresas que participa en proyectos que requieren los niveles más altos de eficiencia y confianza.

Algunas de sus participaciones se reflejan a continuación:

1. Autopista Urbana Sur (San Jerónimo – Viaducto Tlalpan).
2. Autopista México-Tuxpan.
3. Terminal 2 del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.
4. Línea 12 del metro.
5. Hipódromo de las Américas.
6. Estadio Omniflife (Guadalajara).
7. Emisor Oriente de la Ciudad de México.
8. Corredor Norte y ampliación Domingo Díaz (Panama).
9. Autopista Rio Verde Cd. Valles San Luis Potosí.
10. Hospital Ajusco Medio.
11. Línea B del metro.
12. Línea 9 del metro.
13. Hospital de zona Zacatecas, Zacatecas.

Algunos de los proyectos anteriormente mencionados presentaron las siguientes aportaciones en elementos prefabricados:

Hipódromo de las Américas

Se ejecutó su fabricación en un periodo de 5 meses, en donde se logró proyectar un área cubierta que alcanzó los 41,000 m². El número de elementos prefabricados otorgados a esta empresa son los siguientes:

PRODUCTO	CANTIDAD	UNIDAD
<i>Columnas Circulares</i>	44	PZA
<i>Losas Doble T</i>	785	PZA
<i>Trabes Portantes</i>	476	PZA
<i>Trabes de Rigidez</i>	264	PZA
<i>Columnas Cuadradas</i>	66	PZA
TOTAL	1,635	PZA

Tabla 2. Cantidad de elementos otorgados a PRET para el Hipódromo de las Américas.

Distribuidor Vial Zaragoza

Hasta este año es considerada la obra vial más grande desde la construcción del Anillo periférico que conecta a la Ciudad de México con el Estado de México. La participación de la empresa PRET fue impresionante, al obtener su planta de fabricación un record por fabricar los elementos más grandes y pesados que actualmente se han utilizado en alguna vialidad en el país, un ejemplo de ellos son sus cabezales de hasta 230 ton. Además se fabricaron un total de 1549 elementos donde en su gran mayoría serían tabletas, cabezales y traveses T, considerando a su vez la fabricación de traveses cajón y traveses de rigidez.

Línea B del metro

Para esta extensión del metro se logró ejecutar alrededor de 4.4 km de construcción en menos de 5 meses. Se realizaron un total de 204 traveses TA y TC con sistema de presfuerzo longitudinal y transversal, llevando a la par la fabricación de 60,000 mil durmientes que servirían para el sistema de fijación.

Participación de PRET en Tren Interurbano México-Toluca

Hoy en día PRET está por concluir su participación en el único tramo que se encuentra ubicado en la capital del país y el cual tiene por nombre “tramo III del Tren Interurbano México-Toluca”. Su participación radica en suministrar, transportar y en algunos cadenamientos montar los elementos prefabricados que mediante un riguroso control de calidad salen de la planta la Arboleda.

Su contrato consiste en la fabricación de elementos para el tendido de 16.64 km de los 17 kilómetros que requiere este tramo. Dentro de los trabajos de obra civil que se le encomendó ejecutar a la participación conjunta Caabsa Constructora, S.A. de C.V, abarcan la prefabricación de elementos para la construcción de la cimentación, superestructura y acabados del tramo III. Se espera que el tramo sea terminado para finales del segundo semestre de este año o inicios del 2018.

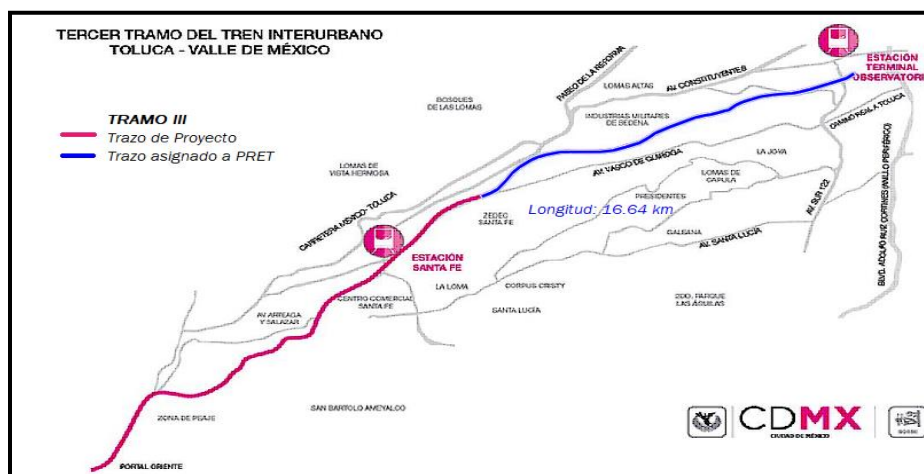


Figura 13. Tramo asignado a PRET para el tramo III del TIMT.

2. PLANTA PRET “LA ARBOLEDA”

2.1 Ubicación geográfica

La planta PRET “La Arboleda” se encuentra ubicada en el municipio de Texcoco, Estado de México, a un costado de la Autopista México-Veracruz #136 frente a la localidad de San Joaquín Coapango la cual cuenta con una población de casi 6800 habitantes.

A continuación (Figura 16) se puede apreciar las modificaciones al predio que fue necesario implementar con motivo del poco espacio de almacenamiento que anteriormente se contaba y principalmente con la finalidad de proteger al conjunto de elemento almacenados en espera de posibles choques que se podría producir entre ellos al momento de entibarlos o cargarlos para su posterior transportación en los camiones.

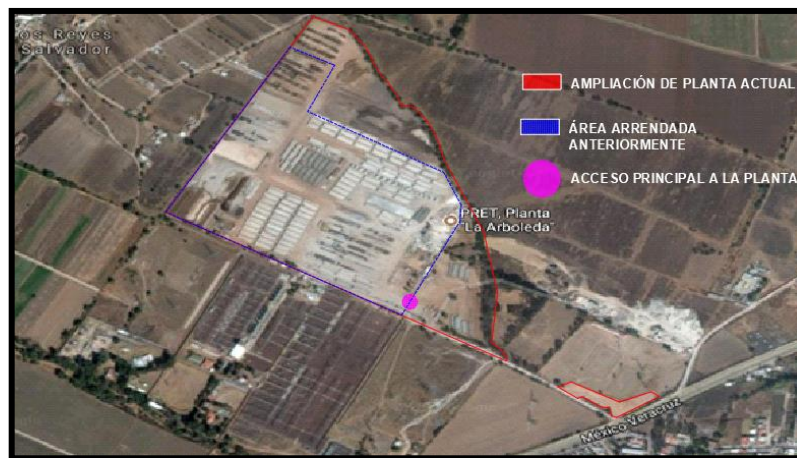


Figura 14. Modificaciones a planta PRET “La Arboleda”.

La cobertura de la planta permite alojar múltiples áreas que se caracterizan por tener una función específica para la fabricación de los elementos prefabricados que se envían al Tren México-Toluca. A continuación se describe de manera general cada una de las áreas que componen a la planta PRET “La Arboleda”:

1.-Acceso principal

En esta zona se cuenta con personal de vigilancia que tiene la función de llevar un control del acceso del personal interno de la planta y personal externo, tales como auditores, supervisores y visitas de cualquier persona capacitada para ingresar al predio. Además, se registra el acceso y salida de camiones sobre plataforma o grúas para el transporte de los elementos prefabricados.

2.-Iglesia de Ex Rancho “La Arboleda”

A pesar del cambio de ocupación de este predio que anteriormente era utilizado como un rancho, aún se conserva la capilla de aquel terreno.

3.-Patio de maniobras

A tan solo 130 m de la entrada principal se puede encontrar el patio de maniobras de la planta, en donde se ejecutan las tareas de preparación y carga para los elementos que van a ser transportados hasta el cadenamamiento correspondiente de la obra.

3.- Próximas oficinas

A escasos 21 metros del patio de maniobras de la planta podemos encontrar las nuevas oficinas de PRET, las cuales tienen la particularidad, de ser construidas con materiales prefabricados y elaborados desde las instalaciones de esta planta y las cuales llegarán a alcanzar las dimensiones en planta de casi 40m x 17m.

4.-Dosificadora de concreto

Parte del gran éxito y eficiencia de Prefabricados y Transportes SA. De C.V. es que cuentan con una planta interna de concreto de la marca "Concret" que posibilita alcanzar altos rendimientos en la fabricación de concreto para elementos prefabricados. Esta se encuentra en la zona Oriente de la planta y tiene la capacidad para ejecutar todo el control de procesos para la obtención de este material pétreo y además, cuenta con el espacio suficiente para cargar a los camiones que transportan el concreto a las camas de colado, así como para almacenar los insumos de agregado grueso y fino.

5.-Laboratorio de control y calidad

Sin duda una de áreas más exigentes y necesarias de la planta. El laboratorio de control y calidad se ubica en la frontera oriente de la planta, junto a la planta de concreto. En este laboratorio se lleva a cabo desde el control de calidad del concreto hecho en la planta, hasta cuestiones técnicas que influyen en el procedimiento de tensado de los torones y temas referidos a la seguridad global de la planta.

6.- Área de habilitado de acero

Existe en el predio un área que permite realizar el habilitado y desarrollo del acero que reforzará al concreto del elemento, para resistir las tensiones y deformaciones inducidas por las cargas que recibe cada tipo de pieza. Esta área se encuentra en la zona central de la planta y cuenta con el espacio suficiente para permitir el acceso a los pórticos que cargarán el acero hasta los moldes o mesas de colado.

7.- Áreas de colado

Dentro de la planta existen 5 diferentes tipos de moldes para el colado de los elementos prefabricados, en ellos se coloca el acero de refuerzo previamente habilitado y si las características del proyecto lo requieren, se incluye también el acero de presfuerzo. Esta zona se encuentra a escasos metros del área de habilitado del acero y recibe el concreto premezclado elaborado en la planta para su colocación, compactación y curado.

8.-Área de acabados y preparación final de elementos

Entre el acceso principal a la planta y las nuevas oficinas de PRET, se encuentra una zona destinada a la limpieza, mejoramiento y estética de los elementos fabricados en la planta para su posterior envío o almacenamiento. En esta zona se busca proporcionarle a los elementos prefabricados una numeración que permita distinguir a cada elemento del resto y darle el acabado espejo que marca el proyecto.

9.-Almacén

El almacenamiento de la planta se lleva a cabo en la zona norte y suroeste de la misma, con posibilidades de expandirse a la zona perimetral del predio dependiendo la demanda de fabricación que se le otorgue a la empresa para próximos trabajos.



Figura 15. Áreas de planta PRET “La Arboleda”.

2.2 Moldes y productos

La producción de elementos prefabricados para el tramo III del tren Interurbano México-Toluca, se distingue por su fabricación de dos tipos de elementos dependiendo su función. Los elementos mayores, que son aquellos cuya función estructural debe satisfacer las necesidades de transmisión de carga de la superestructura, como lo pueden ser columnas, capiteles, travesaños, vigas cajón, dovelas etc. Los elementos menores, son aquellos que cuentan con dimensiones más pequeñas y son utilizadas como revestimientos o elementos de soporte auxiliar en viaductos, puentes, túneles, etc.

A continuación se menciona el catálogo de moldes y productos que se fabrican en la planta La Arboleda, solicitados para el tramo III del TIMT, y la relación de los volúmenes de insumos ocupados con el avance del proyecto.

2.2.1 Moldes

A pesar de que existe una gran variedad en materiales para la utilización de cimbras o moldes que permiten darle forma al concreto en su estado plástico, en la planta se cuenta con moldes especiales de acero que otorgan un gran número de usos y garantizan la precisión de la geometría de cada elemento. El total de moldes que se emplean en la planta para satisfacer las necesidades de producción son los siguientes.

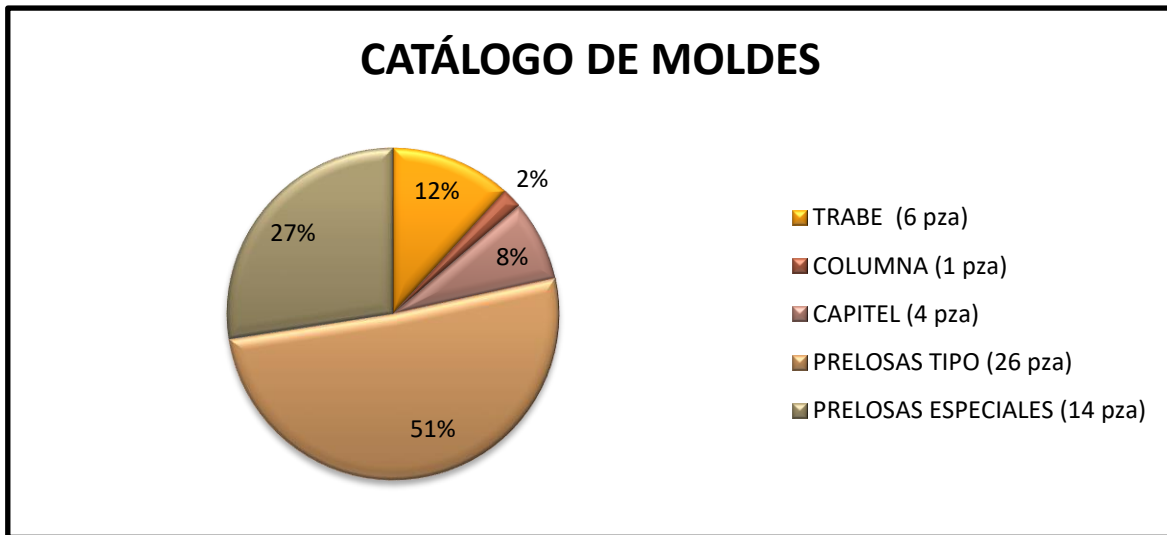


Tabla 3. Porcentaje de moldes existentes en planta PRET “La Arboleda”.

2.2.2 Productos

Actualmente la empresa cuenta con la capacidad para fabricar múltiples productos utilizados en obras de infraestructura que requieren los más complejos diseños de elementos con la mejor calidad.

Dentro del catálogo de elementos mayores y menores que se fabrican en la planta se cuenta con la producción de:

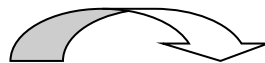
- Columnas
- Cabezales
- Capiteles
- Dovelas
- Trabes AASHTO

- Trabes de Rigidez
- Trabes Cajón
- Trabes T
- Trabes Doble T
- Otros



*Elementos
mayores
fabricados
en PRET*

- Prelosas Tipo
- Prelosas Especiales
- Faldones
- Deflectores
- Tabletas
- Parapetos



*Elementos
menores
fabricados
en PRET*

"Cantidad de Elementos fabricados para el tramo III del TIMT

■ TOTAL DE PREFABRICADOS
 ■ ASIGNADOS A PRET
 ■ PENDIENTES POR FABRICAR (Hasta el 1er semestre)

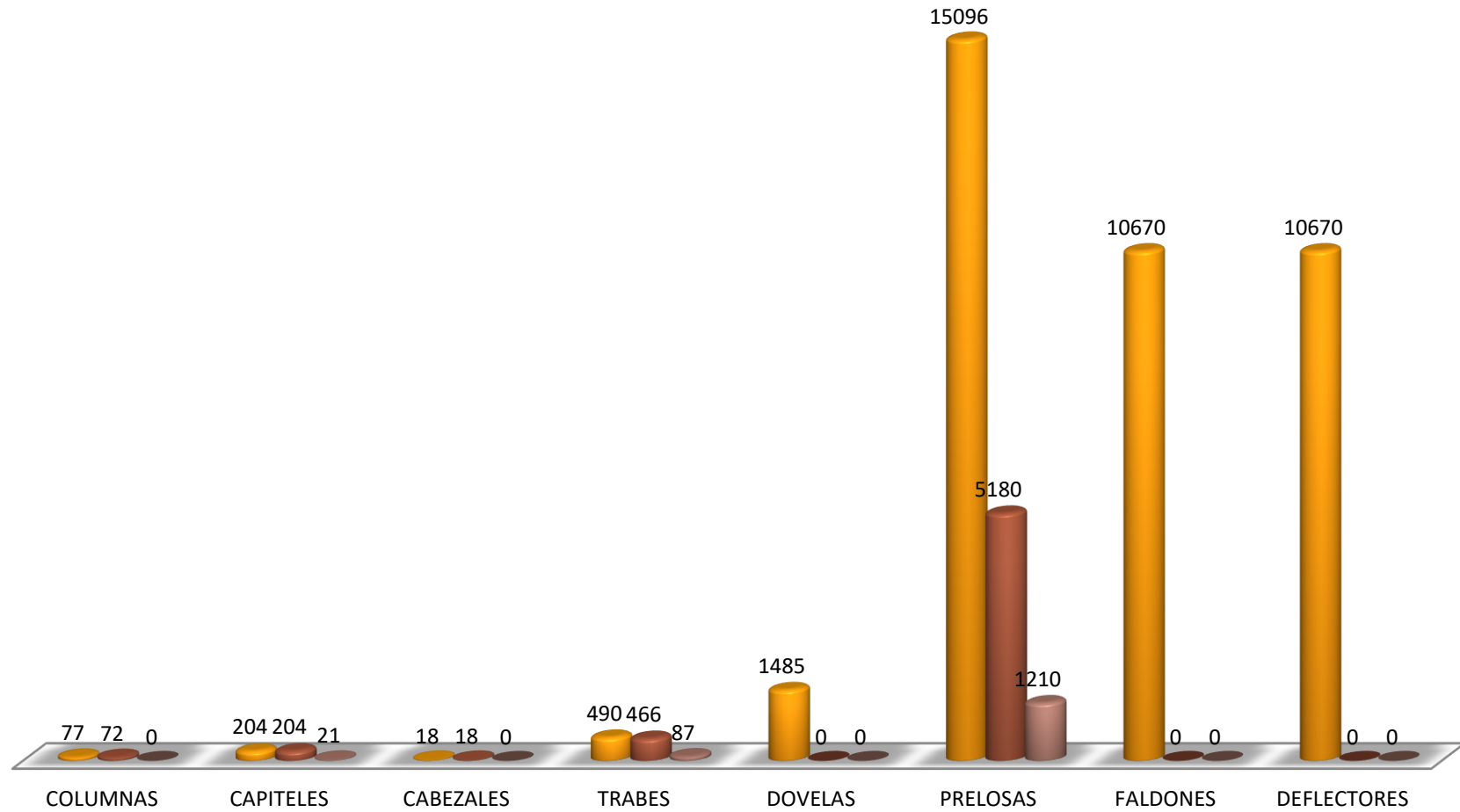


Tabla 4. Relación de cantidad de elementos otorgados en el TIMT.

2.3 Volúmenes de producción

Cada elemento prefabricado solicitado para el Tramo III del TIMT debe contar con la cantidad y requerimientos de insumos necesarios, marcados en diversos reglamentos como se verá más adelante. Sin embargo, el análisis de materiales necesarios para la producción de todas las piezas requeridas, debe considerar un riguroso proceso de análisis para evitar desperdicios, mermas en exceso e incluso un sobre costo por el incremento en el valor de los insumos.

La cantidad de material promedio obtenida para el número de elementos encomendados a PRET son los siguientes:

ELEMENTOS MAYORES	CANTIDAD			
	<i>Cantidad [Pza]</i>	<i>Concreto [m3]</i>	<i>Acero refuerzo [Ton]</i>	<i>Peso total [Ton]</i>
<i>Cabezales</i>	18	1466	237	2013
<i>Capiteles</i>	204	7275	2420	12641
<i>Columnas</i>	72	1944	1161	4615
<i>Trabes</i>	466	27812	6086	70054

ELEMENTOS MENORES	CANTIDAD			
	<i>Cantidad [Pza]</i>	<i>Concreto [m3]</i>	<i>Acero refuerzo [Ton]</i>	<i>Peso total [Ton]</i>
<i>Faldones</i>	10670	7999	896	19384
<i>Prelosas</i>	5180	2499	302	3193
<i>Deflectores</i>	10670	9430	1056	22745

Tabla 5. Volúmenes de producción en elementos mayores y menores para el TIMT.

2.4 Equipos

Para cubrir con las necesidades de producción, carga y montaje de una planta de prefabricados, se debe de tener el número de equipos necesarios los cuales deben contar con condiciones optimas de operación y encontrarse dentro de su vida útil de producción. Tanto el costo, como la cantidad necesaria de combustible para satisfacer el cárter de cada equipo, debe considerarse dentro del precio de fabricación de cada elemento. En promedio la planta de PRET tiene un consumo de diesel semanal de casi 6000 litros.

El tipo y cantidad de equipos que la planta cuenta se mencionan a continuación:

Marcos MI-JACK

Este tipo de grúas cargadores sobre ruedas con capacidad de hasta 160 ton, permiten mover internamente, no solo los elementos ya fabricados y listos para su transporte, sino que tienen la función de transportar el acero de refuerzo que integra a los elementos hasta las mesas de colado; además, sirve como un equipo especial de carga para almacenar los esbeltos elementos que se llegan a fabricar. Actualmente se cuentan con 4 Marcos dentro de la planta.



Figura 16. Marco MI-JACK empleado en planta PRET “La Arboleda”.

Camiones revolvedores de concreto

Gracias a la dosificadora de concreto con la que se cuenta, el material pétreo artificial obtenido con las características especiales y la resistencia establecida en el proyecto, es mezclado completamente en la central y entregado a los camiones mezcladores para que estos recorran escasos metros hasta los moldes de colado. Actualmente se cuenta con un total de 6 camiones revolvedora.



Figura 17. Camión revolvedor empleado en planta PRET “La Arboleda”.

Grúa telescópica sobre camión

Dependiendo las condiciones de montaje y el peso del elemento estructural por montar, se utilizará el tipo de grúa telescópica que satisfaga la necesidad deseada. En la planta se cuentan con 1 grúa con capacidad de hasta 110 toneladas, 1 grúa de hasta 70 toneladas y 2 grúas con una capacidad mayor de hasta 160 toneladas.



Figura 18. Grúa telescópica sobre camión para montajes.

Marcos pórticos SHUTTLELIFT

Los 2 marcos pórticos Shuttlelift sobre ruedas con los que se cuenta en la planta, permiten cargar hasta 55 toneladas y manipular los elementos pequeños con mayor eficiencia, sin problemas de inestabilidad y con buena flexibilidad interior y exterior, así como un radio de giro más cercano al pórtico. Otra ventaja es que su operación es por un mando por radio control que facilita los movimientos.



Figura 19. Marco pórtico SHUTTLELIFT empleado en planta PRET “La Arboleda”.

Grúa hidráulica sobre camión

Cuando de montaje de elementos demasiado esbeltos y pesados se trata, la planta cuenta con 1 grúa hidráulica con capacidad de hasta 350 toneladas que permite levantar estructuras a hasta alturas de 60 metros.



Figura 20. Grúa hidráulica sobre camión para montajes.

2.5 Procesos

Cada tipo de sistema y material estructural debe cumplir con un proceso de diseño y construcción que permita elaborar obras con altos niveles técnicos, apoyados de una correcta supervisión y un adecuado cuidado de las herramientas ocupadas para el análisis y diseño de los elementos. Con base en todo esto, es posible generar propuestas de geometrías y características mecánicas ad hoc. para cada proyecto, siguiendo estándares de calidad internacionales, como lo es el ISO-9000 que permite llevar el control de procesos y servicios que ofrece la empresa.

2.5.1 Proceso previo de fabricación

Antes de iniciar con la producción de cada uno de los elementos prefabricados encomendados a PRET, es importante tomar en cuenta los siguientes puntos ordenados de manera subsecuente:

1.- Revisión del proyecto

Se dimensiona el alcance de la participación de PRET para producir miles de elementos que formarán parte del Tramo III del proyecto del Tren interurbano México-Toluca. En este punto se detallan los aspectos generales para cumplir con los 16.64 km de construcción otorgados a Caabsa Constructora, S.A. de C.V.

2.- Conciliación de elementos a fabricar

PRET gestiona en conjunto con las otras empresas, la solución del número de elementos a fabricar y las cuestiones técnicas como dimensiones, distancia entre claros que deben librar, peso de los elementos, tipo de materiales a ocupar, el tiempo de producción y entrega de elementos, entre otros puntos que garantizan la seguridad estructural del proyecto.

3.- Generación de planos de taller

Una vez establecida las condiciones y dimensiones requeridas para el proyecto se procede a producir planos característicos y específicos que permitirán producir cada elemento prefabricado, en donde además de precisar la geometría, peso y resistencia del elemento diseñado, permitirá servir como un certificado de calidad del control de procesos que se debe seguir para la fabricación de los elementos.

4.- Revisión de planos generados

Generados los planos de taller, se revisa exhaustivamente la normatividad existente para verificar que cada elemento haya sido diseñado conforme a los estándares de calidades internacionales y certificados nacionales.

5.- Entrega oficial al cliente para autorización de producción.

Una vez revisado que los planos de taller cumplan con las especificaciones de las normas mexicanas aplicables, se procede a entregar los planos al cliente para que este de su Vo.Bo. o

las modificaciones que considere pertinentes. Una vez autorizados los planos, el mismo cliente puede encomendar el inicio de la producción de los elementos.

2.5.2 Proceso general de fabricación

Para poder iniciar con los ciclos de producción que se requiere para fabricar los elementos encomendados, es fundamental llevar a cabo el siguiente control de procesos:

1.- Habilitado y Armado de elementos

Los procesos de habilitado y armado del acero que permitirá absorber los esfuerzos de tensión producidos en los elemento se realizan respetando las normativas como se verá más adelante. Se apegará a los detalles plasmados en el plano de taller y deberá (entre otras muchas características que posteriormente se analizarán) poseer la corrugación necesaria para mejorar la adherencia con el concreto. Si el diseño lo marca, se añadirá acero de presfuerzo necesario.

2.- Preparación de molde e ingreso de armado

Una vez habilitado y armado el acero de refuerzo y si es el caso, colocado el acero de presfuerzo, se procede a transportar el acero con ayuda de los pórticos hasta la mesa de colado o molde que permitirá funcionar con una cimbra de contacto con acabado espejo y proporcionara al elemento la función de servir como un recipiente que se adapta a la forma geométrica diseñada. En estas mismas mesas de colado, se pueden realizar los trabajos de tensado de torones en los elementos pretensados.

3.- Colado

Una vez supervisado el habilitado del acero y todos los requerimientos para el colado del elemento, se programan los pedidos de concreto en los camiones revolvedores, para verter la mezcla dentro de la mesa de colado o moldes. Durante este proceso se debe tomar en cuenta múltiples aspectos de la calidad del concreto. Una vez alcanzado el fraguado inicial del concreto e iniciada la pérdida de humedad del mismo, se realizan las maniobras de curado a vapor del elemento, como se detallara más adelante.

4.- Desmolde y extracción

Alcanzado el 80% de la resistencia de diseño del elemento, es posible extraerlo del molde, retirando los sujetadores que comprimen al elemento en toda la periferia de su sección y con ayuda de alguna de las grúa pórtico, se eleva al elemento y es preparado para la última de sus etapas.

5.- Almacenamiento en patio y detallado

El proceso termina con detallado de los defectos visibles que se producen en el colado por la falta de vibrado o errores en la producción del concreto, que ocasiona la falta de acabado espejo en el mismo. Estos detalles son admisibles siempre y cuando se garantice que no

afectan la seguridad estructural del elemento. Ejecutado el detallado de las piezas, se procede a almacenarlo en un lugar adecuado y con la separación adecuada de otros elementos, de tal manera que se evite el choque entre ellos.

2.5.3 Proceso general de calidad

En la figura 21 se muestra el control de procesos llevado a cabo para la fabricación de un elemento presforzado dentro de las instalaciones de la Planta PRET “La Arboleda”, dicho proceso será el desarrollo principal de este trabajo.

Existen diferentes procedimientos e instalaciones especiales, además de los ya mencionados en la figura 21, que son de suma importancia tomar en cuenta y los cuales se mencionarán a continuación:

Colocación de bajada de aguas pluviales

Es común que en el diseño de elementos prefabricados para obras de infraestructura como viaductos o puentes, se tomen en cuenta posterior a la colocación del aligeramiento interior del elemento, tuberías que permitan escurrir las bajadas de aguas pluviales que recolectará el elemento y de esta manera reducir los encharcamientos producidos.

Revisión topográfica del molde

Comúnmente los moldes pueden sufrir deformaciones o distorsiones producidas por la fuerza de tensado de los torones; es decir, la concentración de esfuerzos generados en los bordes de la mesa de colado o moldes. Estas deformaciones deben ser controladas previas a la colocación del concreto, con la finalidad de evitar elementos con secciones irregulares que puedan ser motivo de rechazo para el cliente.

Colocación y retiro de lonas térmicas

Mantener la humedad del concreto durante el proceso de resistencia, es una de las complicaciones que en ocasiones el curado a vapor no logra por si solo contener, es por eso que durante este proceso los elementos son envueltos en lonas capaces de refugiar al elemento contra los cambios térmicos producidos en el ambiente. Una vez alcanzado el 80% de la resistencia última del elemento, estas lonas pueden ser retiradas.

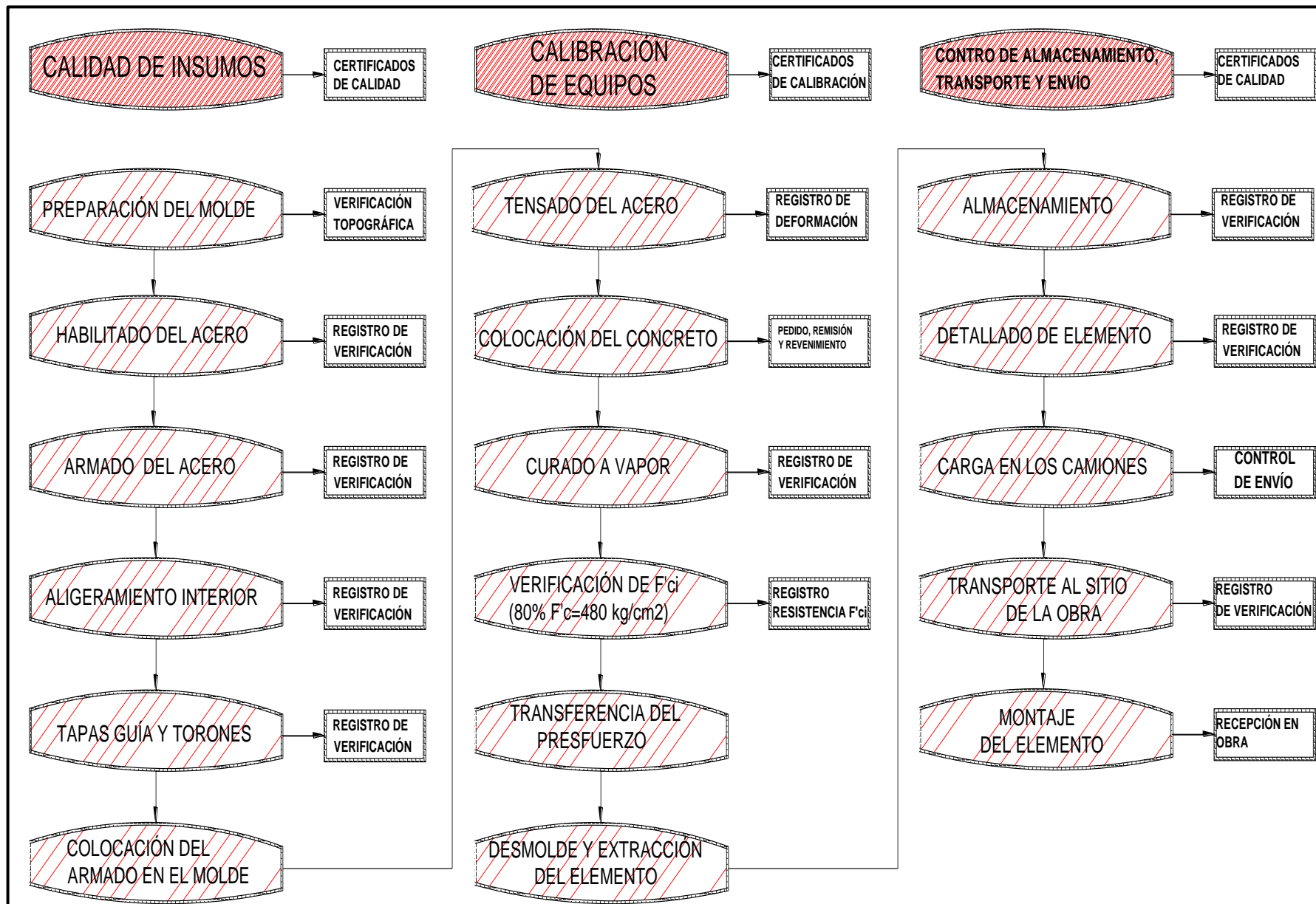


Figura 21. Control de procesos en la producción de Elementos presforzados en PRET.

3. TEMAS GENERALES DE ESTRUCTURACIÓN EN ELEMENTOS PRESFORZADOS

3.1 Generalidades

A pesar de que hoy en día con los avances tecnológicos existentes, hay una gran variedad de materiales empleados en la industria de la construcción; aún no se crea un material que logre sustituir la gran resistencia a la compresión que nos otorga el concreto, ni la excelente resistencia a la tensión que presenta el acero ante grandes cargas. Es por eso que el concreto reforzado es una excelente combinación, donde el refuerzo del acero proporciona la resistencia a la tensión de que carece el concreto, además de resistir altos esfuerzos a compresión durante la vida de servicio de una estructura.

En general el gran éxito de la utilización del concreto reforzado en las estructuras de todo el mundo, radica en que presenta además de las anteriores mencionadas, una excelente resistencia al fuego y al agua, presenta características de rigidez, requiere poco mantenimiento y es considerado que tiene una larga vida de servicio.

Sin embargo una nueva metodología llamada “*Concreto Presforzado*” permite utilizar el aporte del acero en otra presentación (torones) para generar una concentración de esfuerzos totales o parciales en secciones tipo de elementos estructurales, con lo que se logra elevar la resistencia y servicio de cada elemento, además de reducir las secciones peraltadas que se tenían en el pasado a elementos de tamaños considerables.



Figura 22. Fisuras presentadas en miembros reforzados y presforzados.

El posicionamiento del acero de presfuerzo, define claramente el tipo de beneficio que le otorgará a cada elemento estructural. Es común estudiar previo al diseño y colocación del acero que requiere una pieza, los diagramas de momento flexionantes inducidos por las fuerzas a las que serán sometidos los elementos, con la finalidad de determinar la colocación exacta del acero de presfuerzo. Si el presfuerzo se coloca de manera similar a la curva generada por cargas verticales; es decir con una distribución de momentos máxima al centro del claro y con excentricidad pequeña en los extremos, el acero de presfuerzo permitirá disminuir los esfuerzos de tensión y los momentos en la sección al centro del claro; sin embargo, un posicionamiento axial o excéntrico incorrecto del acero de presfuerzo, reduce o anula el beneficio.

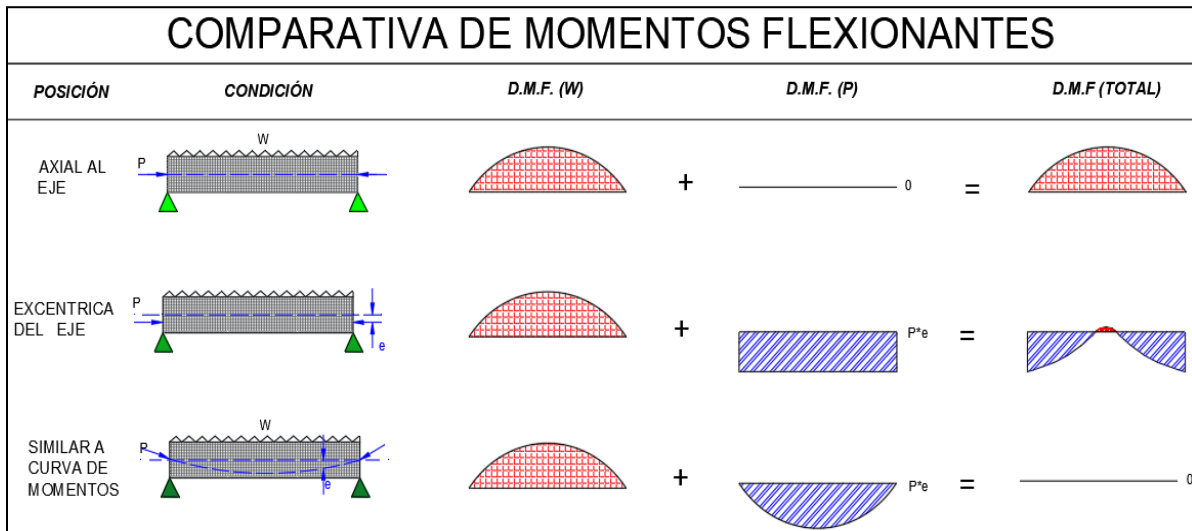


Figura 23. Respuesta de momentos flexionantes para diferentes vigas cargadas.

3.1.1 Estado limite de falla

Cada estructura independientemente del material con el que se construyó, debe diseñarse de tal modo que su resistencia de diseño en comparación con los momentos y fuerzas internas que actúen en ella, sea al menos igual o mayor, de tal modo que garantice la seguridad de la estructura. Comúnmente se estudian estados límite por flexión, flexocompresión, torsión, fuerza cortante, pandeo y entre otros que se mencionarán a continuación:

Flexión y flexocompresión

Para los elementos parciales o totalmente presforzados, se calcula su resistencia a la flexión o flexocompresión por medio de sus condiciones de equilibrio y también por la hipótesis que considera entre los puntos más importantes los siguientes:

- La distribución de deformaciones unitarias longitudinales en la sección transversal de un elemento es plana.
- La deformación unitaria del acero es igual a la del concreto adyacente, debido a la adherencia entre ambos.
- El concreto no resiste esfuerzos de tensión.
- Se considera de 0.003 el valor de la deformación unitaria del concreto cuando se alcanza la resistencia de la sección.
- Entre otros.

Torsión

Las acciones generadas por efectos de torsión en elementos de concreto total o parcialmente presforzados se aplican cuando los tramos afectados no sean menor que el doble del peralte total del elemento. Además, existen piezas que su equilibrio depende directamente de su resistencia a la torsión y por lo tanto es necesario reforzarlas con acero transversal y longitudinal. El acero transversal es común que se utilice en forma de estribos cerrados

perpendiculares al eje del miembro y los cuales deben estar anclados por ganchos cuyo ángulo formado sea de 135° , se incluye también: barras longitudinales y tendones. El refuerzo longitudinal total en una sección debe resistir el momento flexionante de diseño en dicha sección, más una fuerza de tensión longitudinal concéntrica, la cual está basada en la torsión considerada en el diseño del elemento.

Fuerza cortante

La determinación de los esfuerzos cortantes inducidos por cargas que actúan ortogonalmente al eje de un elemento en su sentido longitudinal, se determinan a través de un estudio en donde se toman en cuenta importantes parámetros como: dimensiones geométricas del elemento, resistencia a compresión del concreto, distancia a fibra de compresión y momentos actuantes. Es común que el refuerzo utilizado por tensión diagonal en viga presforzadas este formado por estribos perpendiculares al eje del elemento, con aceros que presenten un esfuerzo de fluencia especificado no menor a 4200 kg/cm^2 .

Pandeo

Es imposible eliminar el pandeo producido en el diseño de los elementos presforzados, es por eso que durante el análisis estructural del mismo, se debe considerar la posibilidad de pandeo en los puntos de contacto del acero de presfuerzo (torones) y el concreto de alta resistencia. Además, se deberá considerar el pandeo producido en almas de espesores delgados y en patines con la misma condición.

3.1.2 Estado limite de servicio

Independientemente del estado limite de falla, se debe garantizar que todas las respuestas como deformaciones, agrietamientos o incluso cambios de geometría en los elementos de presfuerzo queden reducidas o limitados a valores que garanticen el correcto funcionamiento del elemento en condiciones de servicio.

3.1.3 Presfuerzo parcial y total

De acuerdo a lo establecido por las Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto (Capítulo 9), así como diferentes manuales importantes de fabricación de concreto presforzado (Anippac, SMIE), el término de presfuerzo parcial o total se utiliza en aquellos elementos diseñados para resistir momentos flexionantes a través de refuerzo ordinario y presforzado.

Se considera como presfuerzo total cuando el índice de presfuerzo "IP" esta comprimiendo con valores entre 0.9 y 1 , en donde se incluyen los valores extremos. En caso de que el índice de presfuerzo sea menor al 0.9 pero mayor o igual a 0.6, entonces es considerado como un presfuerzo parcial. Cuando el "IP" sea menor a 0.6 no existirá ningún presfuerzo en la pieza.

3.1.4 Ventajas y desventajas de los elementos presforzados

Sin duda el concreto presforzado en comparación con el concreto reforzado, resulta una idea significativamente atractiva para proyectos de gran envergadura, en donde los tiempos de ejecución se ven limitados de tal manera que los procesos constructivos deben realizarse de la mejor manera, en el menor tiempo posible y por el menor costo. Además, los agrietamientos y deformaciones en los elementos presforzados reducen el momento producido en los tendones lo que genera elementos más eficientes. A continuación se mencionan algunas ventajas y desventajas de los elementos presforzados:

Ventajas

- Al producirse momentos negativos en los elementos durante su presfuerzo, es común que se genere combadura en los miembros, con lo que se garantiza que las deflexiones totales sean menores.
- Con la aplicación del presfuerzo es posible utilizar las secciones transversales enteras de los miembros para resistir cargas, con lo que se obtienen secciones del mismo tamaño para librar claros más grandes o secciones pequeñas para soportar las mismas acciones. Con esto se logra además reducir las cargas totales de diseño para un proyecto.
- Se genera una reducción de los esfuerzos de tensión diagonal, secciones más rígidas bajo cargas de trabajo y mayor resistencia al impacto y a la fatiga.
- Se genera poco agrietamiento en los elementos presforzados al ser sometidos a cargas concéntricas, lo cual mejora su estética, aumenta su impermeabilidad y por lo tanto se evita la corrosión del acero de refuerzo.
- Al disminuir los agrietamientos, el concreto presforzado proporciona un costo global muy bajo debido al escaso mantenimiento que es necesario otorgarle.

Desventajas

- El requerir elementos con super resistencias implica por lo tanto la utilización de concretos y aceros de alta resistencia que son más caros que los tradicionales; además es necesario control riguroso del colado mediante la utilización de cimbras especializadas y un curado de primera calidad.
- Es común que en la fabricación de elementos presforzados se lleve un estudio estricto en el modo de la elaboración, desde el control de los materiales, hasta el tensado del miembro.
- Se pueden presentar pérdidas en las fuerzas de presfuerzo principal, cuando al aplicar compresión al concreto, propicia un acortamiento al mismo y con el tiempo, relaja parcialmente los cables reduciendo su tensión en los elementos. Sumado a esto las condiciones empeoran con la contracción y el flujo plástico del concreto.
- Se debe considerar en el costo del elemento las placas de extremos y los dispositivos de anclaje terminales.
- Se requiere mayor planeación del proceso constructivo de colados y en la ejecución de transporte y montaje.

3.2 Pretensado y Postensado

Es común que los sistemas de presfuerzo se usen en vigas u otras piezas de concreto, con la finalidad de contrarrestar los esfuerzos de tensión inducidos por el mismo peso propio del elemento y las cargas a las que se ve sometida. Si la reacción de dichas cargas causan un momento positivo en el D.M.F. es posible presforzar el elemento para generar en el un momento negativo que contrarreste en parte o totalmente el momento positivo. Con esto es posible conseguir una carga negativa a través del presfuerzo que elimine el peso propio del elemento.

3.2.1 Pretensado

El pretensado es un método de presfuerzo que considera previo al colado del elemento, la aplicación del tensado de los tendones los cuales inducirán esfuerzos en el elemento.

Para su fabricación se requiere de cimbras especiales, comúnmente metálicas o muertos de concreto capaces de soportar los esfuerzos durante el colado y curado del concreto hasta el corte de los tendones y la transferencia de las fuerzas. Una vez alcanzada la resistencia necesaria del concreto para cortar los tendones, se realiza esta actividad y las fuerzas del presfuerzo se transmitirán a lo largo del elemento por adherencia entre las paredes

Es común que este método sea el más viable para fabricar gran número de elementos, ya que el tensado es el mismo pero las dimensiones de las camas de colado pueden construirse a grandes longitudes, favoreciendo a que los tendones pueden tenderse y usarse para colar varias vigas en línea simultáneamente (figura 24).

Se pueden fabricar moldes adaptables para evitar una concentración de esfuerzos en los extremos en los elementos y disminuir la probabilidad de dichas fuerzas con encamisados de los torones.

Las aplicaciones más comunes de este método son viguetas, losas, trabes y gradas en donde las primeras se aplican de manera muy cotidiana en el sistema de losas de entrepisos de casas habitación y el resto aplicable para puentes, edificaciones, etc.

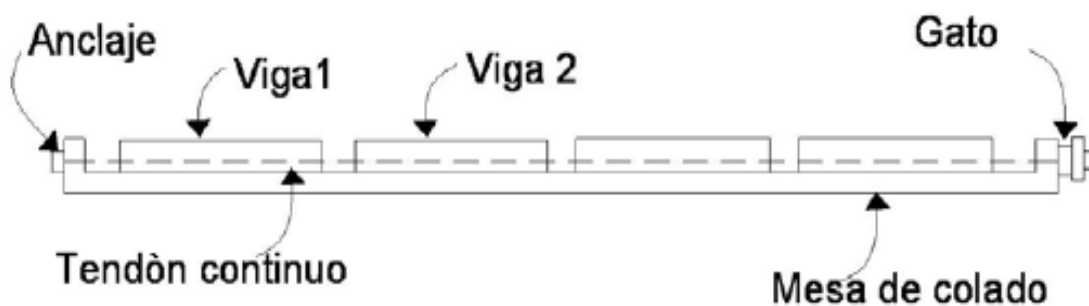


Figura 24. Esquema general del proceso de pretensado continuo.

3.2.2 Postensado

El postensado es otro método alternativo de presfuerzo, consiste en tensar los tendones y anclarlos en los extremos de los elementos una vez que el concreto ha alcanzado la resistencia necesaria para recibir esfuerzos importantes, comúnmente el 80%.

Antes del colado se colocan en las cimbras, ductos o conductos comúnmente llamados manguitos o vainas con los tendones sin presforzar dentro de ellos (o colocados posteriormente) y en la posición exacta de la trayectoria deseada, esto permite tener una holgura de la excentricidad inmersa en el elemento a lo largo del mismo, con lo que se logra la correcta aplicación de los esfuerzos y las flechas inducidas dentro de ellos.

El siguiente paso es colar y curar el concreto hasta alcanzar casi la mayoría de la resistencia especificada de diseño; una vez sucedido esto, se tensan los tendones y se unen mecánicamente a dispositivos especiales de anclaje en los extremos para lograr mantener a los tendones en su posición estirada. Es común que los conductos sean rellenados con lechada o mortero posterior al anclaje de los torones, con esto se logra entre otras cosas, disminuir los movimientos relativos entre los torones durante las cargas dinámicas y proteger al acero de los procesos de oxidación y corrosión.

Con el postensado, se garantiza ceder las fuerzas del presfuerzo al concreto por apoyo extremo y no por adherencia. Su aplicación varía desde la fabricación de diafragmas de puentes, dovelas para puentes, vigas de grandes claros, losas de presfuerzo bidireccionales, tanques de agua, entre otros.

Para mostrar los esfuerzos internos generados en una viga presforzada por el método de postensado, se debe suponer los siguientes pasos (Figura 25):

- A) Los torones (ilustrados por una línea punteada) se colocan en la parte inferior de la cimbra de la viga.
- B) Los torones se tensan a esfuerzos muy altos.
- C) El concreto se coloca en la cimbra y se permite que alcance la suficiente resistencia para poder cortar los cables del presfuerzo.
- D) Se cortan los cables.

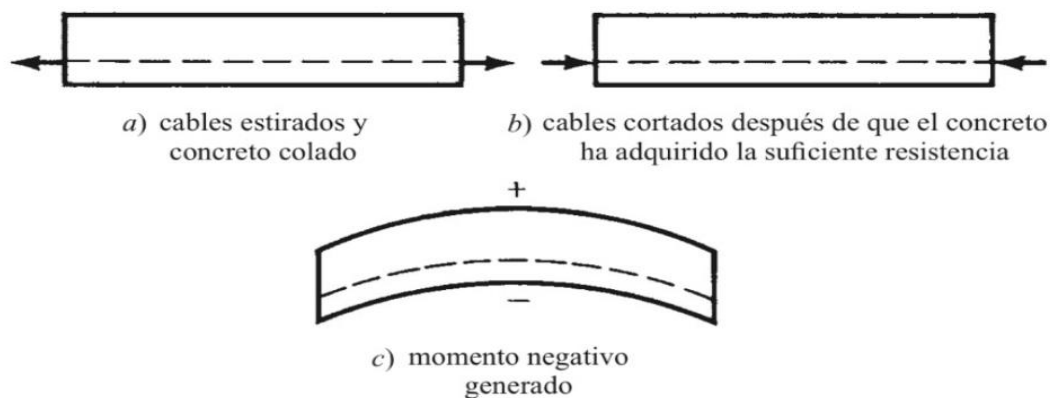


Figura 25. Esquema general del proceso de postensado.

4. CONCEPTOS BÁSICOS DE MATERIALES PARA CONCRETO PRESFORZADO

Los elementos encomendados a Prefabricados y Transportes SA. De C.V. (PRET) para el tramo III del Tren Interurbano México-Toluca, como otros sin fin de proyectos, deben cumplir con certificados de calidad de insumos utilizados en las plantas para la fabricación de los elementos, de tal manera que se logre garantizar un completo control de calidad en la producción de cada pieza presforzada.

Los materiales deben cumplir con los requisitos establecidos en las especificaciones del proyecto, revisando las normas mexicanas NMX y en su defecto las normas ASTM, con lo que se logrará un correcto manejo, almacenado y utilización, evitando desperdicios y mermas.

Conocer las propiedades físicas y químicas de cada material empleado en la industria del presfuerzo, es vital para satisfacer las resistencias establecidas en cada elemento estructural, es por eso que en esta sección se explicará la composición de cada uno de los materiales empleados en la producción de miembros prefabricados haciendo énfasis en los componentes del concreto, acero de refuerzo, acero de presfuerzo y materiales empleados para cimbra y curado del concreto.

4.1 Concreto

El origen del concreto es incierto, sin embargo se tienen ciertos indicios del mismo a lo largo de la historia, empezando de antiguas civilizaciones ubicadas en la ribera del Danubio en donde se hallaron restos de posibles aglomerantes o amalgamas de materiales granulares, siguiendo con ciudades adyacentes a los pantanos del tiber, culminando con la utilización de cal y puzolana por los griegos y los romanos respectivamente. Para mediados del siglo XVIII John Smeaton, emplea una combinación de piedra caliza calcinada con rocas para construir el faro de Eddystone ubicado en Devon, Reino Unido. Para 1824 Joseph Aspdin patenta el cemento portland con lo que se marca una nueva generación en la industria de la construcción. Se le atribuye al francés Edmont Coignet la prefabricación de vigas de concreto armado.

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta está compuesta de cemento portland más agua la cual se denomina también “matriz”, esta tiene la función de unir a los agregados en forma de una masa semejante a un material pétreo artificial. La palabra “concreto” se deriva de “concretum” que significa “lo que muchas cosas pequeñas se hace una sola masa”.

Es común que el concreto ordinario alcance resistencias que varían entre los 200 kg/cm² a 300 kg/cm². El éxito para que alcance altas resistencias dependerá principalmente de la calidad de los materiales empleados en su fabricación, un correcto proporcionamiento, el modo de transporte, colocación, compactación y curado del mismo y por supuesto, un mantenimiento constante para evitar alguna posible patología que afectase su resistencia y apariencia.

4.1.1 Concreto para presfuerzo

La aplicación de concreto presforzado se disparó a mediados del siglo XX, a pesar de que previo a esto el continente Europeo ya tenía ciertas aplicaciones con aceros y concretos de altas resistencias. Los concretos de alto desempeño tiene la característica de poseer mayor calidad y resistencia con respecto a los concretos ordinarios, alcanzando valores de f_c desde los 350 kg/cm² hasta 500 kg/cm²; además, estos pueden reducir considerablemente su permeabilidad y evitar ataques de físicos y químicos que dañen al elemento.

Para poder producir concretos de alta resistencia es necesario tener un estricto control de calidad en la fabricación y cuidar el tipo de materiales por utilizar. El aumento de la resistencia puede lograrse con la aplicación de aditivos de gas de sílice ó superfluidificantes , utilizando agregados sólidos y limpios y por supuesto, reducir la relación agua-cemento.

El objetivo de estos concretos es soportar las transferencias de esfuerzos inducidos por el acero de presfuerzo cuando el concreto ha alcanzado al menos 250 kg/cm² y con esto reducir el tamaño de los elementos , lo que genera un ahorro significativo en el costos de los insumos e indirectamente motiva menor tiempo en la fabricación de elementos.

A pesar de su alta resistencia, este concreto es susceptible de presentar deflexiones y agrietamientos, los cuales es posible controlar mediante un correcto estudio del presfuerzo y la aplicación de aditivos perfectamente proporcionados. Sin embargo, es importante estudiar las deformaciones, propiedades y el comportamiento del concreto antes de iniciar la fabricación de las piezas.

Deformación por flujo plástico

Cuando un elemento es sometido a cargas de compresión sostenidas, se deformará durante largos periodos de tiempo. Una vez alcanzada la deformación inicial de un miembro, existe una deformación adicional; comúnmente conocida como cedencia o fluencia plastica, esta reacomoda las partículas del concreto y modifican las dimensiones de los elementos.

La magnitud del flujo plástico depende mucho de la magnitud de los esfuerzos presentes, se podría considerar que es directamente proporcional al esfuerzo, mientras el esfuerzo sostenido no sea mayor que aproximadamente la mitad de f_c . Superior a ese valor el flujo plástico crece rápidamente. Además, otra consecuencia de las cargas a largo plazo es que propician una pérdida de la resistencia del concreto, existiendo reducciones del 15% hasta el 25%.

A continuación se mencionan algunos factores que afectan la magnitud de la fluencia plástica:

- Cuando el concreto es sometido a temperaturas mayores entre 65°C - 71°C la fluencia plástica tiende a alcanzar valores altos.
- Cuando se tienen tiempos adecuados de curado en los elementos previo a la aplicación de cargas, se disminuirá la magnitud de la fluencia plastica. Para los elementos

presforzados es vital el curado a vapor, ya que permite alcanzar resistencias rápidas del concreto y reduce por lo tanto la posibilidad de presentarse fluencia plástica.

- A pesar de que los concretos de alta resistencia utilizados en la industria del presforzado son susceptibles a manifiestan menor fluencia plástica, en ellos se generan esfuerzos mayores que en los elementos de concretos de resistencia normal, hecho que motiva un incremento de la fluencia plástica.
- Las relaciones agua-cemento altas generan mayor magnitud de fluencia plástica, ya que la matriz es la que es afectada por este fenómeno y no los agregados. Además, el incremento de la relación agua-cemento reduce la resistencia de los elementos presforzados.
- El acero de refuerzo en elementos presforzados reducen la fluencia plástica generada en el concreto.

Contracción por secado

Cuando se mezcla la matriz y los agregados que forman al concreto, esta debe cumplir con la suficiente fluidez y manejabilidad de tal manera que le permita fluir a través del acero y la cimbra que se pretende colar. Para conseguir la fluidez del concreto, es común que se utilice más agua de lo normal que la necesaria para que se inicie el proceso de hidratación en el concreto.

Una vez que el concreto se ha curado y comienza a secarse, el agua excedente que se utilizó en el mezclado comienza a aflorar a la superficie, en donde inmediatamente se evapora. Como consecuencia el concreto se contrae y se producen grietas significativas, donde estas últimas pueden reducir considerablemente la resistencia a esfuerzos cortantes de los elementos y afectar visiblemente a los mismos. En consecuencia, con el tiempo el concreto dañado permite que el refuerzo quede expuesto a la atmósfera o agentes químicos como descongelantes, que provocan oxidación en el acero y posteriormente corrosión.

El dimensionamiento de la contracción dependerá del tipo de exposición que tenga el concreto, siendo el viento durante el proceso de curado un factor que incrementa la posibilidad de que exista contracciones y por otro lado, los ambientes húmedos reducen la posibilidad de producirse dicha falla. Además, cuanto mayor sea el área superficial de un elemento en proporción a su volumen, mayor será la contracción presente en él.

Es importante seguir las siguientes recomendaciones para evitar daños por este fenómeno:

- Es vital utilizar agregado duros y densos de baja absorción (calizas y granitos), que ayuden a evitar saturar aun más el concreto como lo hacen las pizarras y areniscas.
- Debido a que la contracción del concreto es proporcional a la cantidad de agua empleada, se deberá tener relaciones agua-cemento mínima; además esto garantizará la resistencia del concreto.
- Controlar perfectamente el curado del concreto hasta que este alcance al menos su 80% o durante 3 a 4 días.

- Colar el concreto en secciones pequeñas para garantizar que la contracción ocurra antes de colar la nueva sección.
- Intercalar juntas constructivas para controlar la posición de las grietas
- Reforzar los elementos con acero por contracción.

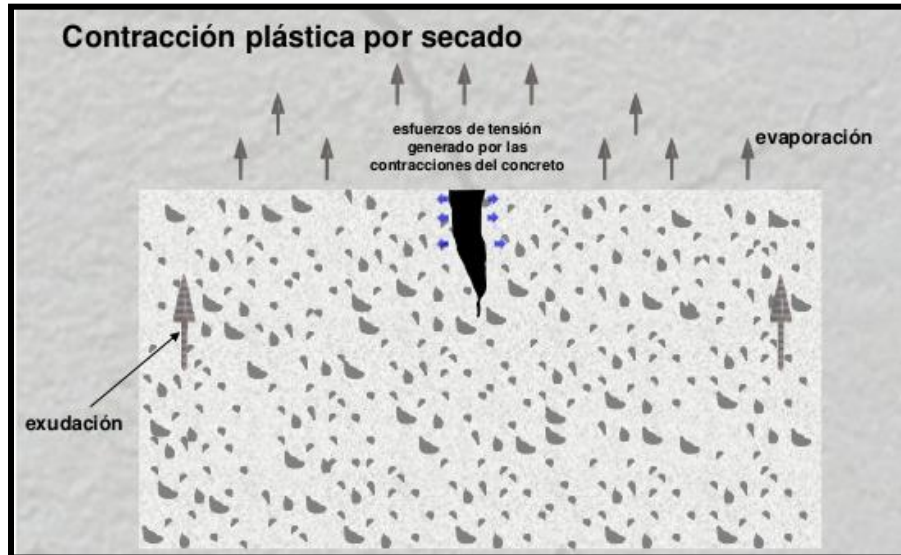


Figura 26. Proceso de contracción por secado en el concreto.

4.1.2 Cemento

El cemento portland es uno de los compuestos principales del concreto, debido a que éste tiene de la propiedad de darle el endurecimiento una vez que es mezclado con agua, de tal manera que funciona como un cementante de los agregados y permite una unión compacta. Este cementante está formado principalmente por la mezcla de dos compuestos: clinker y sulfato de calcio (yeso).

El Clinker es un material obtenido por múltiples procesos en donde se incluyen la extracción de la materia prima, trituración, prehomogenización, almacenamiento, molienda vertical, precalentamiento, calcinación y enfriamiento de la misma. La materia prima que forma el clinker está constituida por: Oxido de calcio (C), Sílice (S), Alúmina (A) y Oxido de Hierro (F), estos compuestos se obtienen principalmente de piedras calizas y arcillas, las cuales son sometidas a temperatura de hasta 1400 °C en hornos especiales de calcinación. Los minerales resultantes del proceso de clinkerización son: Silicato tricálcico (C₃S), Silicato dicálcico (C₂S), Aluminato tricálcico (C₃A) y Aluminato Ferrito tetracálcico (C₄AF), estos minerales ahora le proporcionarán al cemento, la característica de fraguado inicial y además, que se produzcan dentro del concreto cambios térmicos que permitan proporcionarle resistencia después de 72 horas.

El sulfato de calcio (yeso) tiene la función de controlar el endurecimiento rápido del concreto provocado por el clinker, con lo que se logra tener tiempos adecuados de fraguado y evitar agrietamientos por contracción y flujo plástico del mismo. Sin embargo, el yeso en exceso

podría contrarrestar sus beneficios y producir expansiones en el concreto que generarían problemas estructurales y estéticos.

Es importante mencionar que una correcta relación agua-cemento permite alcanzar altas resistencias en los elementos de concreto, para que sean capaces de soportar los enormes esfuerzos producidos por el acero de presfuerzo y las cargas de cada proyecto. A medida que la relación agua-cemento disminuye, se garantiza un incremento en la resistencia por lo cual cada laboratorio de control y calidad deberá considerar el proporcionamiento adecuado para la fabricación de cada pieza.

4.1.2.1 Tipos de cemento

Para todos aquellos concretos fabricados con cemento portland ordinario (CPO) es común que se requiera de al menos dos semanas para que adquieran la resistencia suficiente para que el elemento pueda autosoportarse, curarse y ser sometido a cargas. Estos concretos elaborados con este cemento alcanzan su resistencia a los 28 días y continúan ganándola con el paso del tiempo. Cuando por necesidad se requiere acelerar los procesos de fabricación, como es el caso de las plantas de prefabricados; es vital utilizar cementos de fraguado rápido, los cuales permiten obtener resistencia necesarias en periodos de 3 a 7 días; sin embargo, tienden a ser más costosos. También son ocupados para elaborar concreto lanzado por cualquiera de sus dos vías (vía húmeda y vía seca) y para reparaciones de emergencia.

Existen diferentes tipos de cemento portland con características especiales y utilizados para una función en especial. A continuación se dará una breve descripción de cada uno de ellos:

Cemento portland ordinario (CPO)

Este tipo de cemento suele desprender mayor calor de hidratación y suele ser muy susceptible a recibir ataques químicos por medios ácidos y salinos (sulfatos y cloruros). El cemento portland ordinario es apto para la prefabricación, particularmente sin tratamientos higrotérmicos y concretos de altas resistencias, aplicables en elementos presforzados.

Cemento portland puzolánico (CPP)

También, el Cemento Portland Puzolánico es de bajo calor de hidratación. Este tipo de cemento es idóneo para prefabricación mediante tratamientos higrotermicos del concreto, ya sea con vapor a presión en autoclave o bien con vapor libre.

El Cemento Portland Puzolánico, se utiliza bastante bien en el caso forzado de tener que emplear en el concreto, agregados reactivos con los álcalis del Cemento Portland Ordinario, en primer lugar porque la adición de puzolana reduce la proporción de clínker Portland y con ella la de los álcalis que este aporta y en segundo lugar porque la propia puzolana fija álcalis y evita o atenúa la acción sobre los agregados reactivos. Es idóneo para concretos en contacto con aguas agresivas de cualquier naturaleza (puras, carbónicas y ligeramente ácidas), se utiliza también para pedidos de concretos en grandes masas en donde se busque evitar los incrementos de temperaturas y con ello la retracción y contracción térmica que origine

fisuras, tales como presas o cimentaciones masivas. Es poco recomendable para concreto presforzado y específicamente aquellos que cuenten con un escaso recubrimiento.

Cemento portland con escoria granulada de alto horno (CPEG)

Cuando se requiera proteger al concreto contra acciones químicas que debiliten su resistencia, así como agresiones salinas provocadas por agua de mar o sulfatos; es posible utilizar concretos con cementos de escoria granular de alto horno que cuenten con una relación clinker-escoria baja (o bien un contenido de escoria elevado).

El CPEG es idóneo para concreto en masa armados con suficiente recubrimiento, que este de estar en ambientes agresivos (sulfatos, yesíferos ,etc), para obras en zonas costeras o sumergidas en el mar, suelos y terrenos salinos, sulfatados o selenitosos. Además, se ocupan cuando las condiciones de la obra requiere reducir el calor de hidratación y por lo tanto evitar la fisuración. Entonces, el contenido de escoria además de proteger al concreto permitirá reducir el calor de hidratación del mismo.

Lamentablemente la escoria puede contener sulfuros en determinada proporción, que pueden dar lugar a acciones corrosivas sobre el acero, especialmente severas en el caso de concreto presforzado.

Cemento portland compuesto (CPC)

Los cementos portland compuestos en general, pertenecen a una misma clase resistente, son utilizados comúnmente para obras con concretos estructurales. Entre cada clase resistente pueden existir algunas ligeras diferencias, en función de las consistencias o de las relaciones agua/cemento de los concretos.

Su resistencia química (excepto corrosión de armaduras), calor de hidratación, durabilidad, tracción y fisuración, o tratamientos higrotérmicos, es igual a todos los demás cementos, en principio serán preferibles a los Cementos Portland Ordinario, a no ser que estos tengan alguna de las características especiales incluidas en las mismas, tales como bajo calor de hidratación y/o resistente a los sulfatos.

Cemento portland con humo de sílice (CPS)

El empleo del Cemento Portland con Humo de Sílice solicita en ocasiones el uso de aditivos superfluidificantes y reductores de agua en el concreto, a fin de mantener bajos los contenidos de agua del mismo y su retracción hidráulica de secado, esto se debe a que el humo de sílice es un producto que consta de partículas muy finas de sílice amorfa, con una superficie específica 50 veces mayor que la de un cemento Portland ordinario.

4.1.3 Agregados

Los agregados que se ocupan para la fabricación de concreto reforzados y presforzado, representan alrededor de casi tres cuartas partes del volumen total de la mezcla. Esto se debe principalmente a lo siguiente:

- Son un relleno relativamente económico para el material cementante, tomando en cuenta que para fines de costo son más económicos que el cemento.
- Permiten reducir los cambios de volumen en proceso de fraguado, cambios de humedad y endurecimiento.
- Se encargan de proporcionar una masa enlazada con partículas aptas para resistir la acción de cargas aplicadas, abrasión, paso de humedad, la acción dinámica y por lo tanto aportan resistencia a la compresión al concreto.
- En estado plástico los agregados finos y la pasta actúan como lubricantes de los agregados gruesos para que el concreto pueda ser mezclado, transportado, colocado, compactado y terminado en forma adecuada.

Los agregados de peso normal pueden clasificarse de tres maneras:

- 1) Por el origen: Ígneas, sedimentarias o metamórficas.
- 2) Por el modo de fragmentación: Naturales, manufacturadas o mixtas.
- 3) Por el tamaño de las partículas: Agregados finos (arenas), Agregados gruesos (gravas).

La selección de agregados para elementos estructurales cuya función principal sea la transmisión de cargas como la producida en puentes, cimentaciones o elementos prefabricados mayores, deben comprender al menos estas características:

- 1) Carecer de grietas o restos orgánicos.
- 2) Deben ser homogéneos, compactos y de grano uniforme.
- 3) Con la resistencia necesaria para soportar la carga que transmitirá el elemento.
- 4) No ser permeables en proporciones mayores a 4.5% de su volumen.
- 5) No alterarse física y químicamente por agentes atmosféricos.
- 6) Entre otras.

A su vez los agregados se pueden clasificar de tres tipos dependiendo su peso volumétrico:

- A) Agregados de peso normal. Se refiere a aquellos agregados que producen un concreto con pesos que varían en 2200 a 2400 kg/m³, los más comunes suelen ser gravas, arenas y piedras trituradas.
- B) Agregados de peso ligero. Según las especificaciones de las normas ASTM C330 y la NMX-C-299 se consideran agregados de peso ligero a aquellos que producen un concreto estructural ligero de 1350 hasta 1850 kg/m³ utilizando materiales como esquisto, arcilla, pizarra y escoria. Además existen otros materiales como la perlita, piedra pomex, vermiculita y diatomita que son capaces de producir además de un concreto ligero, elementos aislantes que alcanzan resistencias de 250 a 1450 kg/m³.

- C) Agregados pesados. De acuerdo a lo establecido por la norma ASTM C 637 y la ASTM C 638, se puede conseguir mayor peso volumétrico en los concretos (hasta 6400 kg/m³) si se utilizan como agregados algunos tipos de materiales como esferas de hierro, barita, limonita, magnetita, hematita, entre otros.

4.1.3.1 Agregado grueso

Los agregados gruesos (comúnmente grava), son materiales obtenidos de manera natural o por medio de trituración de rocas, escorias volcánicas o de alto horno, concreto reciclado o una combinación de estos u otros materiales, los cuales pasan a través de la criba 4.75 mm (malla N°4) y se retienen en la criba 0.075 mm (malla N°200). En el caso de elementos presforzados el tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente varía entre 19 mm y 25 mm.

4.1.3.2 Agregado fino

Los agregados finos (comúnmente arena) al igual que los agregados gruesos se obtienen por medio de trituración o de manera natural por los mismos medios; sin embargo, tienen la particularidad de por su tamaño es retenido por la criba 4.75 mm (malla N°4) y pasa por la criba 90 mm (malla N° 3 ½”).

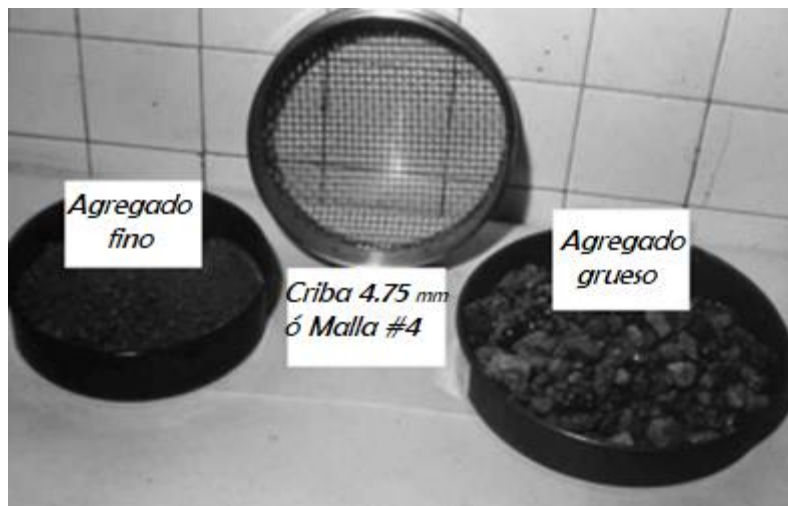


Figura 27. Separación de agregado grueso y agregado fino.

4.1.3.3 Propiedades físicas de los agregados

Para poder realizar un correcto diseño de mezclas y fabricar concreto hidráulico con la resistencia especificada en los proyectos es importante conocer al menos estas propiedades físicas que de los agregados:

Granulometría. Se refiere a la distribución de partículas de un material granular en tamaños definidos, la granulometría es expresada en porcentaje (%)

Densidad. Relación existente entre la masa de un material y el volumen que ocupa dicha masa.

Módulo de finura. Es un módulo aplicable para agregados finos, el cual se obtiene de la suma total de los porcentajes retenidos acumulados a partir de la malla N°4 hasta la malla N°100, divididos entre 100. Este valor comprende entre 2.30 3.10.

Masa volumétrica seca. Es la masa por unidad de volumen que ocupa el agregado seco bajo cierta condición de acomodo de sus partículas.

Desgaste (%). Es la abrasión que sufren los agregados al ser sometidos a cargas.

Absorción. Es el incremento expresado en porcentaje (%), referido a la penetración de agua en sus poros que sufre un material seco.

Sanidad (%). Efecto de la acción producida por el medio ambiente sobre los agregados en estado natural.

Materia Orgánica. Los agregados finos deberán carecer de impurezas orgánicas.

Para su aceptación o rechazo, los agregados deben ser verificados realizando pruebas de control especificadas, en donde dependerá principalmente el cuidado con el que sean manejados y almacenados, de tal manera que se garantice su nula contaminación con materias orgánicas o agentes físicos y químicos. A continuación se mencionan las pruebas aplicables para la verificación de los mismos:

- 1) Colometría.....ASTM C 40
- 2) Intemperismo.....ASTM C 88
- 3) Perdida por lavado.....ASTM C 117
- 4) Partículas ligeras.....ASTM C 123
- 5) Densidad y Absorción.....ASTM C123 Y ASTM C 128
- 6) Abrasión de agregados grueso hasta 1 ½"ASTM C 131
- 7) Granulometría.....ASTM 136
- 8) Dureza al rayado.....ASTM 851
- 9) Humedad.....ASTM 566

4.2 Aguas de mezclado

El compuesto principal para otorgarle resistencia al concreto es el agua, por lo tanto es importante realizar una correcta selección del recurso natural de tal manera que se asegure que el proceso de fraguado no se vea alterado, ni que sea causante de posibles problemas estructurales por la baja calidad del concreto. Según lo establecido en las NMX-X-122-ONNCCE-2004 existen una gran variedad de aguas que es importante tomar en cuenta:

Aguas puras

Se entiende por aguas puras aquellas que tienen un grado hidrotimétrico inferior a 6 y un pH de aproximadamente de 7. Tienen la característica de ser aguas que cuentan con muy pocas partículas disueltas y principalmente el ion calcio se presenta en proporciones despreciables.

Este tipo de aguas se originan de la lluvia, el deshielo glaciario, granizo, nieve, pozos, manantiales y en zonas montañosas resistente a la disolución del agua.

La aplicación de este tipo de agua suele ser agresiva sobre los compuestos cálcicos del concreto debido a su acción disolvente o hidrolizante.

Aguas acidas naturales

Son aguas que como su nombre lo dice cuentan con un pH de 6 lo que la vuelve ligeramente ácida al contener una cantidad de gas carbónico libre y ácido nítrico. Se originan por lluvias que se disuelven en dióxido de carbono (CO_2) u óxidos nítricos del aire que proviene del proceso de descomposición de la materia vegetal de los pantanos.

Este tipo de agua suele ser agresiva debido a la presencia de dióxido de carbono (CO_2) y ácido nítrico que disuelven los compuestos del cemento y los agregados calizos del concreto, dañando considerablemente al mismo.

Aguas fuertemente salinas

Presentan fuertes concentraciones de una o más sales, se originan de la disolución de diversos tipos de suelos que contienen sales, al ser atacados por aguas ácidas y/o puras.

Al ser mezcladas como agua para concreto, se generan efectos adversos por su acción sobre la cal, que interrumpe el proceso de fraguado del cemento. Si se cura el concreto con este tipo de aguas podría generarse una acción disolvente sobre los componentes cálcicos del concreto.

Aguas alcalinas

Son aguas que provienen comúnmente de depósitos porfiríticos o graníticos en los que aguas puras y ácidas descomponen los feldspatos alcalinos como la Albita o la Ortoclasa, los cuales cuentan con silicatos dobles de aluminio y de un metal alcalino.

Su acción agresiva hacia el concreto sucede cuando se genera la hidrólisis alcalina de ciertos compuestos del cemento por los cationes alcalinos, este proceso origina un daño considerable al cemento portland, ya que los cationes alcalinos tienen una acción agresiva sobre los aluminatos cálcicos hidratados y sus iones cálcicos.

Aguas cloruradas

Se refiere a las aguas que contienen cloruros en proporciones considerables, provenientes de elementos alcalinos y alcalinotérreos. Suelen originarse por la acción disolvente de aguas ácidas o puras que atraviesan antiguos lechos marinos o yacimientos de sal gema.

Suelen considerarse agresivas ya que la solubilidad del óxido de calcio (cal) y el sulfato de calcio (yeso) es mayor que en las aguas puras, potencializando su efecto en aguas fuertemente cloruradas, ya que éstas cuentan con la presencia de cloruros alcalinos que favorecen la solubilidad de sales agresivas. Se debe tener un control en las concentraciones de este tipo de

aguas, ya que un exceso de la misma puede generar una acción disolvente sobre los componentes del cemento, concreto y el concreto armado.

Aguas de mar

Debido a la gran cantidad de sales que contiene este tipo de agua (mayor a 35000 p.p.m.) donde predomina principalmente el cloruro de sodio, el cloruro de magnesio, el sulfato de calcio y el sulfato de magnesio; tiene una acción agresiva parecida a las aguas selenitosas naturales (aunque el agua de mar tenga cantidades menores de sulfatos), con un proceso de ataque lento y poco agresivo debido a que en esta agua, se acumula superficialmente calcita, formada por la reacción de la cal del cemento con el bicarbonato de calcio que contiene el agua de mar. El sulfato de calcio carece de presentar un estado de saturación debido a la presencia de otros sulfatos que forman un depósito de magnesio insoluble en los poros del concreto. A pesar de que la acción de los cloruros sobre el ataque de los sulfatos disminuye la agresividad en este tipo de aguas, en el concreto reforzado y/o presforzado se incrementa el peligro de corrosión del acero, por lo que queda estrictamente prohibido utilizarse para estos fines.

Aguas magnesianas

Las aguas magnesianas con aquellas que contienen grandes cantidades de sales solubles de magnesio como cloruros, sulfatos y bicarbonatos. Se originan de terrenos dolomíticos por la acción de gas carbónico disuelto en el agua, esto los hace solubles por la transformación de los carbonatos en bicarbonatos. Cuando estas aguas presentan sulfato de magnesio propician una acción agresiva por la solubilidad que tienen y la tendencia a fijar la cal formando hidróxido de magnesio y yeso insoluble.

Aguas sulfatadas (selenitosas)

Este tipo de aguas presentan grandes cantidades de sulfatos alcalinos de litio, sodio, potasio, calcio y magnesio. Se originan del ataque de formaciones dolomíticas con yeso por aguas acidas o puras.

Su acción agresiva puede considerarse como la más severa al dañar considerablemente a los cementos ricos en cal total y aluminato tricálcico como lo son los cementos portland, los cuales se generan con reacciones básicas. Estas aguas tienden a formar sales dobles fuertemente hidratadas (sal de Cadlot), que es un sulfo aluminato tricálcico bajo una forma pulverulenta y expansiva.

Aguas industriales

Las aguas industriales se originan de los desechos industriales pudiendo ser acidas o básicas dependiendo su proveniencia. Las más perjudiciales para el concreto son aquellas que contienen sulfatos, sulfuros, azúcares, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, nítrico, entre otras que contienen iones sulfato (SO_4) y ácidos orgánicos e inorgánicos que atacan severamente a

todos los tipos de cemento, siendo los más resistentes aquellos de escoria de alto horno con bajo contenido de clinker, los puzolánicos y los aluminosos.

Aguas negras

Son aquellas provenientes de los desechos de la población y suelen ser agresivas debido a que no se tiene control de su composición y podría presentar sustancias perjudiciales que rebasan los límites especificados para uso del agua en la construcción,

Aguas recicladas

Este tipo de aguas son utilizadas en la industria de la construcción para el lavado interior de las bachas y revolvedoras de concreto, suelen utilizarse para fabricar concreto siempre y cuando se haya realizado una correcta. Dentro de ellas se encuentran en suspensión altos niveles de finos de cemento, de agregados y de sales solubles del cemento y aditivos cuando se emplean.

Su acción agresiva inicia con la presencia de cloruros, sulfatos y álcalis en concentraciones importantes. Además un exceso de sólidos en suspensión ocasionan en el concreto defecto de mezclado y por lo tanto mala calidad.

4.3 Aditivos

De acuerdo a lo establecido en la NMX-C-255-1988 y ASTM C494/C494M acerca de los aditivos químicos para concreto, los aditivos son materiales diferentes al cemento hidráulico, agregados y al agua, que se emplean como componentes adicionales al concreto y se agregan en pequeñas cantidades a la mezcla durante o inmediatamente después del mezclado, dichos materiales interactúan con el sistema hidratante-cementante mediante la acción física, química o físico-química, otorgando características especiales al concreto o mortero en sus etapas de freso y fraguado. Varios de los tipos de aditivos se dan en la siguiente lista y se describen brevemente.

Aditivos acelerantes

Los compuestos como el cloruro de calcio tiene la capacidad de acelerar el desarrollo de la resistencia en el concreto. El objetivo de utilizar este aditivo, principalmente en climas fríos, permite reducir el tiempo de fraguado, generando un descimbrado rápido y se genera una protección para el concreto. Otros tipos de acelerantes de fraguado suelen ser sales solubles y compuestos orgánicos. Lamentablemente de acuerdo al código ACI, el cloruro de calcio promueve la corrosión en concretos presforzados, concretos con aluminio ahogado, ni en cimbras de acero galvanizado permanente.

Aditivos retardantes

Estos aditivos propician el retardo del fraguado del concreto y de las temperaturas producidas en el proceso de hidratación del mismo. Se elaboran de compuestos de azúcares y ácidos. Son aplicables para colados masivos donde por el tiempo de colocado se pueden

producir incrementos de temperatura que generen contracciones en el concreto. Otra cualidad especial es que extiende la plasticidad del concreto, ayudando a mejorar el mezclado del colado y evitando juntas frías.

Aditivos inclusores de aire

Estos aditivos deben cumplir con los requisitos mencionados en las normas ASTM C 260 Y la ASTM C 618. Suelen ocuparse cuando en climas fríos se presenta problemas de congelamiento o deshielo y con ello se garantiza mejorar la resistencia del concreto ante sales descongelantes. Su función radica en la formación de espuma formada por millones de burbujas de aire que se incorporan en el concreto. Congelado el concreto, el agua penetra en las burbujas, aliviando la presión sobre el concreto, una vez descongelado este, el agua escapa de las burbujas y se garantiza el poco o nulo agrietamiento del concreto.

Aditivos superfluidificantes

El uso de estos aditivos permite reducir el contenido de agua en los proporcionamientos de la mezcla y al mismo tiempo incrementar el revenimiento del concreto. Estos aditivos se forman a partir de sulfatos orgánicos y también se utilizan para mantener las relaciones agua cemento constantes usando menos cemento; además, al reducir la relación agua cemento se obtiene mayor resistencia en el concreto.

Aditivos autocompactables

Dichos aditivos están formados con superfluidificantes y modificaciones en la relación agua-cemento que garantizan producir mezclas que no requieren vibraciones para su compactación. Se utiliza para secciones estructurales complejas o con armados que restringen el paso de vibradores.

4.4 Acero de refuerzo

La secretaría de comunicaciones y transportes define al acero de refuerzo en la N-CMT-2-03-001/07 “materiales para estructuras-Acero de refuerzo para concreto hidráulico” como un conjunto de varillas de acero que se utilizan para tomar los esfuerzos internos de tensión que se generan con la aplicación de cargas, contracción por fraguado y cambios de temperatura, en una estructura de concreto hidráulico; utilizando varillas corrugadas o lisas.

4.4.1 Grados del acero de refuerzo

En Estados Unidos la fabricación de varillas se realiza con base en aceros provenientes de lingotes, de ejes o de rieles, tal como lo marca las normas ASTM A615, A706 y A996 respectivamente, los dos últimos aceros suelen tener deficiencias al no ser tan dúctiles después de haber sido trabajados en frío. En México es común que la fabricación de varillas se oriente más con la utilización de aceros de lingote y palanquilla.

El grado del acero significa el esfuerzo de fluencia al que será sometido el metal, comúnmente representado lb/plg² y en unidades SI como kg/cm². Según la designación establecida por la

ASTM, los aceros anteriormente mencionados se disponen en grado 450, grado 50, grado 60 y grado 75 en EE.UU. Sin embargo, para la normativa mexicana NMX-C-407-ONNCCE-2001 aplicable a concreto reforzado se disponen únicamente de los grados 30, 42 y 52.

GRADO	LIMITE DE FLUENCIA MÁXIMA (kg/cm²)
30	3000
42	4200
52	5200

Tabla 6. Limite de fluencia para grados de acero (NMX-C-407-ONNCCE-2001).

4.4.2 Tamaño de las varillas

A pesar de que la NMX-C-407-ONNCCE-2001 estipula que las varillas se obtienen en presentaciones de 12 metros y son fabricadas desde el número #3 al #12, existe otra normativa establecida por CANNACERO que proporciona mayor variedad de diámetros en el mercado del país pero aplicable para grados 42 y 52.

Número de designación, en octavos de pulgada	Diámetro nominal, en mm	Área nominal de la sección transversal, en mm ²	Perímetro, en mm	Masa unitaria, en kg/m
2.5	7.9	49	24.8	0.388
3	9.5	71	29.8	0.560
4	12.7	127	39.9	0.994
5	15.9	198	50.0	1.552
6	19.0	285	60.0	2.235
7	22.2	388	69.7	3.042
8	25.4	507	79.8	3.973
9	28.6	642	89.8	5.033
10	31.8	794	99.9	6.225
11	34.9	957	109.8	7.503
12	38.1	1140	119.7	8.938
14	44.5	1552	139.6	12.147
16	50.8	2026	159.6	15.890
18	57.2	2565	179.5	20.079

Tabla 7. Número de designación y masa unitaria (NMX-B-506-CANACERO-2011).

4.4.3 Identificación de varillas

El reconocimiento del acero de refuerzo a simple vista en taller y campo es una de las características que debe tener un acero certificado internacional como el ASTM (A615 y A706) y por lo tanto las NMX (NMX-C-407), las cuales deben permitir reconocer principalmente el número de varilla y su grado. Con la finalidad de lograr esto, las varillas se marcan siguiendo los siguientes pasos:

- A) Los fabricantes o empresas se identificaran con una letra o inicial de su nombre.

- B) Posterior a los fabricantes se coloca el número de varilla del que se trata.
- C) Para el ASTM la siguiente nomenclatura consiste en colocar el tipo de acero con una letra, mientras que en México la NMX marca la letra N que corresponde a la NMX-C-407-ONNCCE-2001.
- D) Para finalizar ambas normativas deben cumplir con los números o líneas que simbolizan el grado del acero.

A continuación se ilustra las marcas de identificación para varillas con los estándares ASTM Y la NMX.



Figura 28. Identificación de varillas en la NMX-C-407-ONNCCE-2001.

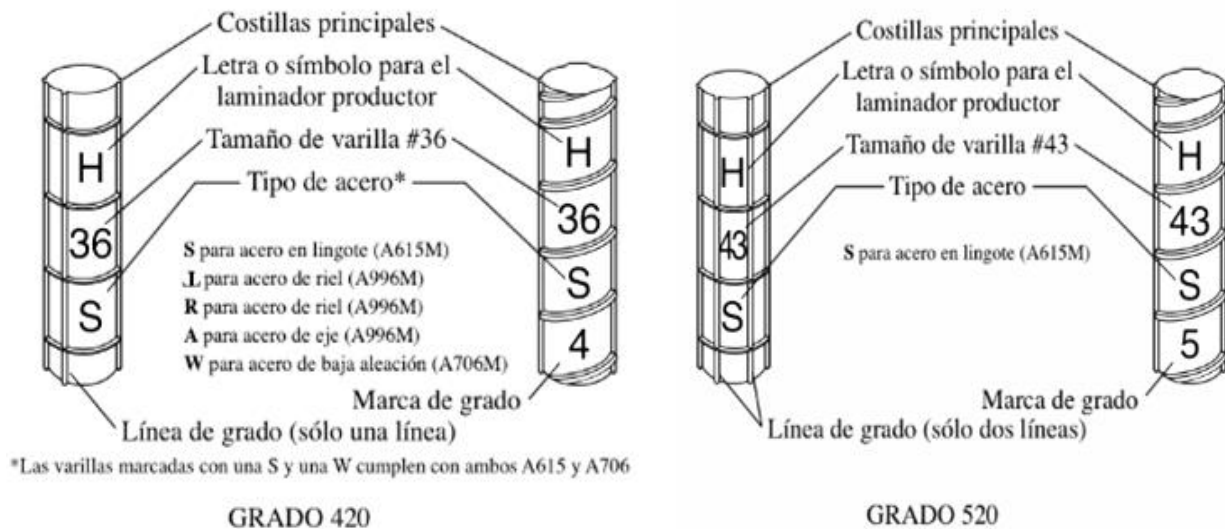


Figura 29. Identificación de varillas por el ASTM A615 y A706.

4.4.4 Corrugaciones

Con la finalidad de evitar el movimiento relativo que sucede en sentido longitudinal entre el concreto y las varillas inmersas en él, las varillas deben estar dotadas de salientes de acero o rebabas comúnmente conocidas como corrugas. Estas deben cumplir con la condición de estar espaciadas a lo largo de la varilla en forma uniforme, con excepción de la zona de identificación de las barras.

Inclinación

Las corrugas posicionadas en sentido transversal deben formar un ángulo no menor de 45° referido al eje longitudinal de la varilla. Cuando por la inclinación de las corrugas se formen un ángulo entre 45° y 70° las corrugas transversales se presentaran en posición contraria en los lados opuestos. Por último, cuando el ángulo de las corrugas es superior a 70° ya no se requiere el cambio de dirección.

Número de designación, en octavos de pulgada	Espaciamiento máximo promedio, en mm	Altura mínima promedio, en mm	Costilla máxima, en mm
2.5	5.6	0.3	3.0
3	6.7	0.4	3.6
4	8.9	0.5	4.9
5	11.1	0.7	6.1
6	13.3	1.0	7.3
7	15.5	1.1	8.5
8	17.8	1.3	9.7
9	20.0	1.4	10.9
10	22.3	1.6	12.2
11	24.4	1.7	13.4
12	26.7	1.9	14.6
14	31.2	2.2	17.5
16	35.7	2.4	20.0
18	40.0	2.6	22.5

Tabla 8. Requisitos generales de corrugas según su designación.

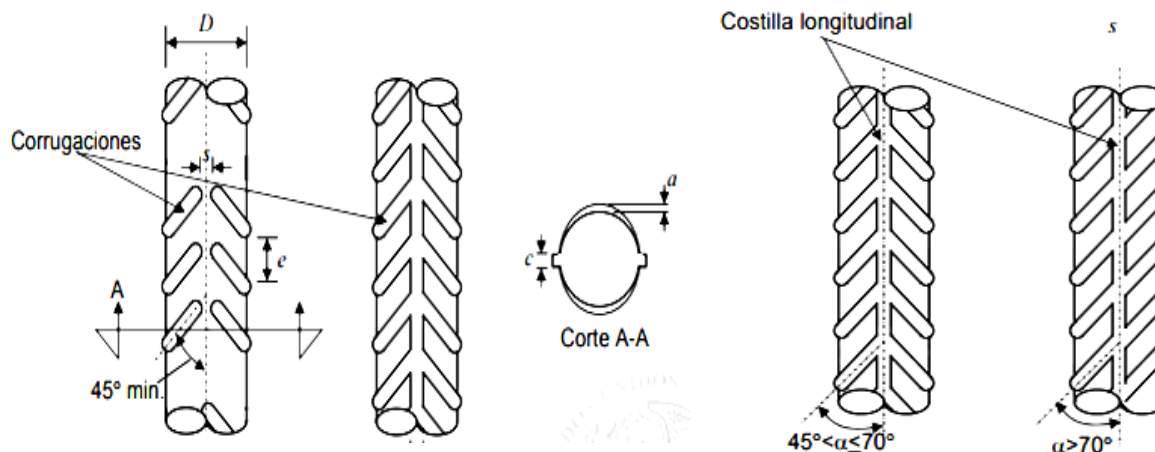


Figura 30. Espaciamiento, posición, altura y separación de corrugas N-CMT-2-03-001/07 y NMX-B-506-CANACERO-2011.

4.4.5 Doblez y uniones de varilla

Para certificar el modo de dobles de las varillas utilizadas en estructuras reforzadas, se debe apegar a las pruebas de doblado estipuladas en la NMC-C-407, en la cual se establece la respuesta y comportamiento al doblado del acero. Para efectos de la prueba, se utiliza una probeta o trozo de varilla que es sometida a dobles alrededor de una maquina dobladora de acero en barras, también conocida como mandril. El objetivo de la prueba es obtener varillas

que no presente agrietamientos en la zona exterior de la parte doblada. Actualmente existe diámetro de mandril recomendados para cada número de varilla como se observa en la Tabla 9.

N° Varilla	Diámetro del mandril para prueba de doblado		
	Grado 30	Grado 42	Grado 52
2.5		3.5 veces d	
3,5 y 5	3.5 veces d	3.5 veces d	
6	5 veces d	5 veces d	5 veces d
8		5 veces d	5 veces d
10		7 veces d	7 veces d
12		8 veces d	8 veces d
14,16 y 18		9 veces d	9 veces d

Tabla 9. Diámetros recomendados de mandril para dobles de varillas.

4.5 Acero de presfuerzo

Los aceros de presfuerzo también son considerados como aceros de alta resistencia debido a que se ocupan para resistir y soportar las fuerzas del tensado; por obvias razones sus deformaciones unitarias son mayores que en el acero de refuerzo, lo que permite reducir los esfuerzos totales de las estructuras al ser estas acortadas elásticamente por compresión, por retracción y por fluencia plástica. Actualmente para la fabricación de elementos presforzados en México y el mundo, se ocupan tres formas de acero: Alambres simples, torones de alambres, tendones y varillas de alta aleación.

4.5.1 Alambres simples

Estos elementos individuales son fabricados por acero de lingote lamiado en caliente, hasta obtener una sección redonda, la cual una vez enfriada, se reduce su diámetro por el proceso de troquelado. Tiempo después del enfriamiento del alambre, se estira en frío por el proceso de trefilado y le proporcional al alambre notables propiedades mecánicas y de resistencia.

Vienen en presentaciones de diámetros de 3, 5, 5, 6, 7, 9.4 y 10mm; además, al igual que los torones están constituidos con aceros de grado 176 y grado 190 lo que permite otorgarle resistencias desde 16000 hasta 19000 kg/cm². Sin embargo, es importante definir que mientras mayor sea el diámetro de los alambres, menor resulta su resistencia y adherencia al concreto.

4.5.2 Torones

Se denomina torón a un cable formado con un grupo de alambres torcidos en espiral y colocados en espirar alrededor de un alma. Son los más comunes en la mayoría de los trabajos presforzados y regularmente se utilizan en presentaciones de 7 alambres, en donde los satisfacen lo establecido en la NMX-B-292-1988, no obstante también existen presentaciones

de torones formados por 19 alambres. Los diámetros vienen en presentaciones que van desde 3/8" hasta las 0.6".

4.5.3 Tendón

El tendón es un elemento tensado utilizado en una estructura de concreto para aplicarle esfuerzos de presfuerzo, son formados por un gran número de alambres, torones o barras que se agrupan en paralelo.

4.5.4 Varillas de alta aleación

En ocasiones se suele utilizar varillas de aleaciones de acero tratadas térmicamente, trabajándolas en frío para mejorar su resistencia y posteriormente pasar por un proceso de estiramiento en frío donde se logra alcanzar los esfuerzos solicitados en ellas. Sus presentaciones se encuentran desde 1/2" hasta 13/8".

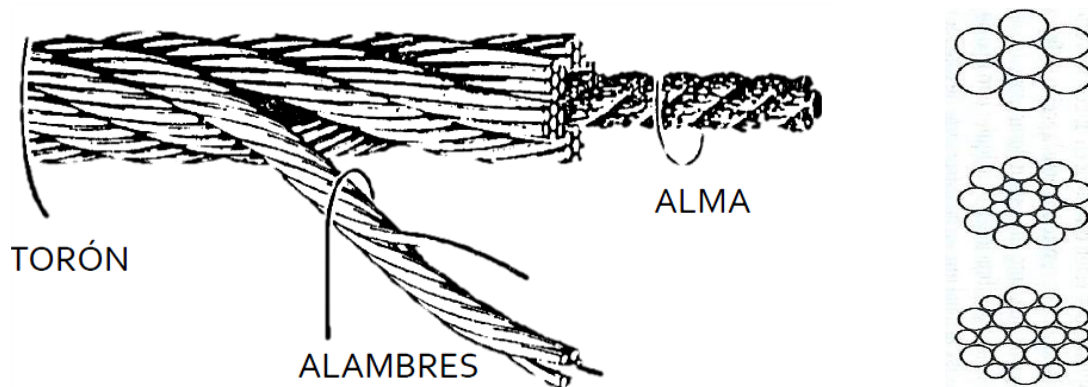


Figura 31. Estructura de los torones.

4.6 Elementos y dispositivos especiales

4.6.1 Zonas de anclaje

Para los elementos pretensados, la adherencia de los torones de tres o siete alambres consiste en la fricción entre el concreto y el acero de presfuerzo en toda la longitud de desarrollo. Sin embargo, En traveses fabricadas por el método de postensado existen ciertas zonas de anclaje, comúnmente llamadas bloques extremos, que no son más que elementos especiales ubicados alrededor de los anclajes en los extremos de un miembro. Su función es distribuir la concentración de esfuerzos en los bordes del elemento estructural.

Los bloques extremos deben tener el suficiente espacio para alojar tanto al acero de presfuerzo como los dispositivos de anclaje y contar con dimensiones que permitan tener una longitud de al menos $\frac{3}{4}$ partes el peralte de la viga por presforzar. A su vez, se refuerzan por medio de parrillas transversales (varillas verticales y horizontales) de tal manera que les permita resistir esfuerzos de ruptura.

4.6.2 Anclaje

Los acopladores y anclajes utilizados para tendones adheridos o no adheridos se emplean para poder alcanzar y desarrollar la resistencia máxima especificada de los tendones una vez que se produce su adherencia. Deben estar protegidos permanentemente para evitar su corrosión.



Figura 32. Tipos de anclaje para presfuerzo

4.6.3 Ductos

En el método de postensado es importante colocar ductos especiales, también conocidos como vainas o fundas de los torones o tendones, estos deben ser capaces de conservar su geometría, evitar el paso del concreto en su interior durante el colado y deben fabricarse sin químicos que contaminen o dañen las propiedades de los torones o tendones, el concreto o el relleno en su interior.

Como se comento en el capítulo 3.2.2 de esta tesina y al final del párrafo anterior, los ductos que reciben los tendones en el postensado son rellenos con lechada que garantiza la adherencia de los tendones con el elemento estructural. Los tendones que no requieren grout son llamados “no adheridos” y son fabricados con polietileno u otros materiales que de igual manera respeten las condiciones químicas del concreto o el acero.

4.6.4 Dispositivos de Izaje

Actualmente se tienen múltiples medios auxiliares en los izajes para el montaje de elementos prefabricados como ganchos, pasadores, estribos especiales y por cadenas y cables de alta resistencia. Sin embargo, en la fabricación de elementos presforzados los dispositivos más utilizados son los ojales elaborados con torones (ganchos), insertos especiales de acero de alta resistencias y varillas pulidas.

5. PROCEDIMIENTOS GENERALES DE FABRICACIÓN, ESTIBA Y TRANSPORTE DE ELEMENTOS PRESFORZADOS

Como caso práctico se expondrán los procesos generales previos y durante la fabricación, estiba y transporte de las trabes cajón encomendadas a Prefabricados y Transportes, S.A. de C.V, estudiando cada uno de los pasos de producción y cuidados necesarios para optimizar el uso de insumos; dando a conocer estrategias y recomendaciones que garantizan la obtención de la resistencia del elemento.

5.1 Prerrequisitos

Como se comentó en el capítulo 2.5 acerca de los procesos previos y durante la fabricación elementos prefabricados, así como los procesos de calidad requeridos en la planta La Arboleda, es fundamental conocer los criterios de eficiencia y seguridad que PRET emplea en la fabricación de cualquier elemento.

Dentro de los prerrequisitos que se deben estipular se incluye: contar con el proyecto ejecutivo terminado, así como el croquis de taller sellado y autorizado por el cliente el cual permitirá establecer el proceso de fabricación de los elementos; además, se deberá establecer las modificaciones al proyecto por escrito en boletines y especificaciones del proyectista autorizados por el cliente. Dentro de los prerrequisitos generales para el proyecto, se debe incluir un análisis de los siguientes aspectos.

Personal

Estos deben estar perfectamente capacitados (con base en lo establecido en la Ley federal del trabajo capítulo III Bis) para realizar cualquier procedimiento durante el proceso de fabricación, transporte y montaje de los elementos. Además, se les debe dar a conocer los riesgos de trabajo a los que se expone y adiestrarlos para evitarlos o mitigarlos.

Área de trabajo

Solo se admitirá personal involucrado en los trabajos de producción, especialmente en el habilitado del acero de refuerzo, tensado del presfuerzo y colado del elemento, desalojando al personal inadecuado y acordonando el área o colocando letreros de peligro. Se establecerá previa a la producción el área que servirá únicamente para almacenaje de los elementos y con las rutas de traslado interno y externo de los elementos revisados y autorizados por el cliente.

Equipos

Los equipos que se ocuparán para los procesos de tensado, colado, carga, transporte y montaje deberán estar verificados y en caso particular de gatos hidráulicos y manómetros perfectamente calibrados de tal manera que garanticen que la capacidad y cantidad de fuerza es suficiente, de acuerdo con los requisitos establecidos en el proyecto.

Para el colado, el vibrador debe ser manejado por gente capacitada que garantice una nula separación de los agregados con la matriz del concreto.

5.2 Limpieza de área y molde

Los moldes de acero utilizados para la fabricación de traveses cajón y otros elementos, no solo permiten un gran número de usos, sino que también están constituido por un sistema modular de bajo peso, lo que les permite poder ser trasladado con facilidad de una zona a otra. Sin embargo, durante el proceso de adaptación del molde es de vital importancia mantenerlo limpio, junto con las demás áreas de trabajo, con lo que se logra disminuir o evitar los accidentes, reducir los desperdicios al mínimo y garantizar trabajos de alto nivel.

La limpieza de la zona de trabajo consiste en retirar los residuos de concreto, agregados o materia orgánica e inorgánica que quedó expuesta en cercanías considerables a las mesas de colado o moldes. Sin embargo, la limpieza de los moldes requiere un poco mas de exigencia, ya que es fundamental realizar preparaciones previas a la limpieza como resanes en las juntas y en los defectos que presente el molde, utilizando pasta (agua y cemento), la cual una vez endurecida , debe lijarse para dar el acabado final. Terminando de resanar el molde, se deberá garantizar que no queden residuos de concreto o pasta adheridos a acero del molde, ni basura que pueda contaminar al concreto o al acero.



Figura 33. Moldes metálicas para trabe cajón en planta PRET La Arboleda.

5.3 Trazo y nivelación topografía

Una vez que el molde se encuentre libre de basuras o cualquier material ajeno al elemento, se ejecutará un levantamiento topográfico para establecer los niveles y alineamientos con los que cuenta el molde después de la limpieza. Con esto se permitirá también hacer una revisión de la relación de centro de gravedad entre mesa y molde, con la finalidad de evitar excentricidades fuera de la capacidad de la mesa.

El siguiente paso consiste en trazar las dimensiones geométricas de la sección canal sobre el molde, lo que permite delimitar las fronteras o barreras que detendrán al concreto durante el colado y con esto, garantizar nulas variaciones geométricas en el elemento. Verificado el trazo, el molde está listo para poder ser rociado con líquido desmoldante, lo que garantiza la correcta extracción del elemento sin dañarlo, ni causando posibles deformaciones al molde metálico.



Figura 34. Trazo y nivelación topográfica.

5.4 Acero de refuerzo

5.4.1 Herramientas

Los equipos utilizados para el habilitado, armado y colocado del acero de refuerzo deberán contar con la calidad y cantidad solicitada en el proyecto para satisfacer el volumen de producción encomendado a la planta. Se debe mantener en condiciones que permitan su correcta operación para próximos trabajos de producción en dicha planta y utilizado únicamente por personal calificado. Algunas herramientas empleadas para el habilitado y armado de acero son trampas, tubos de doblado, mandril, grifas, tortol, cizalla de palanca, etc.



Figura 35. Herramientas de habilitado y armado de acero de refuerzo.

5.4.2 Criterios de aceptación y rechazo

Para garantizar que tanto PRET como el proveedor del acero de refuerzo cumplen con las especificaciones marcadas en las Normas SCT es necesario definir criterios que delimiten la autorización para poder aceptar el material. Dentro de los criterios básicos que aplican en la fabricación de elementos presforzados se encuentran los siguientes:

Las varillas deberán ser entregadas con un certificado de calidad por cada lote, de tal manera que se garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en las Normas o las especificaciones el proyecto, expedido por un laboratorio externo o interno de PRET y autorizado por la Secretaría.

Para fines de aceptación se deberá realizar probetas ensayadas con acero de un lote escogido al azar. Si por error de los equipos de prueba o del personal la probeta no cumple con los requisitos de calidad mencionados en la Norma, es posible realizar de nuevo la prueba en dos especímenes al azar de lotes diferentes, si cumple se autorizará su aplicación para los trabajos.



Figura 36. Prueba de tensión establecida en la NMX-C-407.

5.4.3 Transporte y almacenamiento

De acuerdo a lo establecido en las N-CTR-CAR-1-02-004/02 y N-CTR-CAR-1-02-007/01 el transporte y almacenamiento del acero utilizado en la planta del acero queda en responsabilidad de PRET y deberá cuidarlo de tal manera que no se generen modificaciones físicas o químicas en él. A continuación se mencionan algunos puntos que es vital tomar en cuenta para un correcto almacenamiento del acero de refuerzo de los elementos a fabricar.

- Las varillas deberán estar perfectamente situadas en lugares libres de humedad, protegidas de cualquier ambiente corrosivo y colocadas de tal manera que no estén en contacto directo con el suelo seco o húmedo.
- Se deberá almacenar de acuerdo al tipo de diámetro.
- Se evitará en todo momento que esté contaminada con polvo, óxido, pintura, aceite, escamas deformaciones, imperfecciones u otros materiales contaminantes.

5.4.4 Habilitado del acero y armado del acero

Durante el proceso de habilitado del acero de refuerzo se deberá revisar en todo momento los diámetros, dimensiones, dobleces, desarrollos y tolerancias del acero de tal manera que se apeguen a lo especificado en el proyecto, específicamente a los planos de taller, los cuales servirán como guía para los trabajadores encargados de la línea de producción de los elementos. Además de las preparaciones necesarias para ductos, accesorios, traslapes, ganchos, etc. Se deberá seguir las recomendaciones de las Normas ACI, SCT Y NMX de tal manera que se cumpla las condiciones de habilitado para cada proyecto. El acero se habilitará en lugares cercanos al molde de colado y deberá ser transportado por grúas pórtico del lugar.

5.4.5 Refuerzo transversal

Según lo establecido en las Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Y Construcción De Estructuras De Concreto (Cap 9.6.1.2) es importante colocar en los elementos postensados,

parrillas transversales formadas por acero vertical y horizontal apegadas al proyecto. Si el proyecto no cuenta con estas especificaciones o no son aplicables las recomendaciones del fabricante, entonces se colocaran barras del número 3, colocadas cada 80 mm, en cada dirección. Para el caso de elementos presforzados en zonas de transferencias se debe colocar de igual manera refuerzo transversal en cantidades tales que eviten la aparición de grietas de más de 0.1 de ancho.

En ambos casos se colocaran estribos para resistir esfuerzos cortantes, estos deberán prologarse hasta una distancia medida desde la fibra extrema en compresión (Tabla 10). Por lo tanto se colocarán lo más cercano a la superficie de compresión y tracción considerando los recubrimientos y el resto del acero. Además, deberán ser anclados por medio de ganchos que formen un ángulo de 135 grados y por barras longitudinales o en su caso tendones.

<i>Separación de estribos en mm</i>	<i>Tolerancia en mm</i>
100	±10
150	±15
200	±20
250	±25
300	±25

Tabla 10. Tolerancia de separación de estribos.

5.4.6 Refuerzo longitudinal

El refuerzo longitudinal deberá ser con el diámetro establecido en el proyecto y con la longitud de desarrollo que sobrepase la sección crítica por torsión. Es común que el refuerzo longitudinal se considere como acero de presfuerzo también, es por eso que este debe resistir el momento flexionante de diseño más una fuerza de tensión longitudinal concéntrica.



Figura 37. Habilitado y armado de acero de refuerzo para trabe cajón.

5.5 Acero de presfuerzo

Como se menciona en el capítulo 4.5 del presente trabajo, se utiliza el acero de alta resistencia en diferentes presentaciones para presforzar el concreto. Entonces para la fabricación de las trabes ocupadas en el TIMT se emplean torones o tendones formados por alambres de alta resistencia, los cuales deben estar certificados por el vendedor y por PRET. Se verificará que cumpla con lo establecido en el proyecto, no solo al momento de recibir la remesa del material sino ya que el elemento estructural haya sido terminado, tal como lo establece las Normas SCT.

El presfuerzo ya sea en forma de pretensado ó postensado, se apoya de la gran resistencia a compresión que tiene los concretos de alta resistencia utilizados para la fabricación de dichos elementos. Se genera una compresión en el elemento y se logra ganar mayor resistencia a la tensión en la pieza. Para lograr un tensado correcto se apegará a lo establecido en el proyecto estructural, considerando recomendaciones y aspectos a evitar que garanticen nulas deformaciones indeseables en el elemento.

5.5.1 Criterios de aceptación o rechazo

Los torones deberán cumplir las especificaciones del ASTM A416/A416M Especificación estándar para torón de acero de siete alambres en concreto presforzado, la N-CTR-CAR-1-02-003 ó a lo establecido en el proyecto estructural. Ahí se mencionara entre otros puntos el tamaño, peso, resistencia a la ruptura, área nominal y aspectos relacionados a la elongación del acero.

Una vez recibida la remesa de torones en la planta, se solicitara al proveedor los certificados de calidad, los cuales deben cumplir con la especificación solicitadas. La presentación con la que se acepta es en rollo y se verifica que este perfectamente marcado e identificado con información del fabricante, diámetro del toro, número de colada y el grado del mismo.

Durante la revisión de la remesa se deber verificar que los torones carezcan de melladuras (nicks) o rizos, debido a que estos ocasionan un incremento de esfuerzos por tensión, llegando incluso a fallar durante el proceso de tensado. Además de los anteriores mencionados, el oxido en exceso es otro factor que es importante evitar, siendo factible aceptar cuando las condiciones de oxidación no son tales que dañen el comportamiento del acero y su tonalidad se encuentre dentro de los estándares de cada planta.



Figura 38. Presentación típica de torones recibida en planta

5.5.2 Habilitado del acero de presfuerzo

El torón deberá ser cortado al menos 30 cm de cada extremo además de la longitud total de la mesa, con esto se garantiza la colocación de los anclajes (chucks) y la longitud necesaria para el tensado. Para anclajes dobles de igual manera se deberá contar con la longitud necesaria y espacio donde se pueda colocar.

Una vez habilitado el torón es vital protegerlo estibándolo junto con los demás en camas de concreto o madera perfectamente aisladas del suelo y protegidas de la acción de lluvia u otros materiales nocivos.



Figura 39. Carga de acero de refuerzo de trabe cajón hasta moldes de colado.

5.6 Accesorios

Los accesorios o anclajes para los torones consisten en la colocación de cuñas, barriletes o tapas de resorte escogidos para garantizar el soporte de los esfuerzos producidos por el torón. Los dispositivos (cuñas) deberán soportar al menos el 95% de la resistencia última del torón o incluso el 100% como el caso de los barriletes. Los anclajes con estos instrumentos deberán ser perfectamente seleccionados y no deberán variar en tipo pues sus tamaños distintos podrían producir incongruencia o incompatibilidad.



Figura 40. Dispositivos de anclaje.

5.6.1 Dispositivos de Izaje

Uno de los dispositivos típicos de izaje utilizados en las trabes cajón son los ganchos u orejas formados con torones, acero estructural o varillas, estos dispositivos deben apegarse a lo establecido en las normas de accesorios y de acero de presfuerzo.

Como se menciona en el capítulo 4, también existe la posibilidad de colocar otros tipos de dispositivos como insertos especiales de acero de alta resistencias ó varillas pulidas.



Figura 41. Dispositivos de Izaje de trabes cajón.

5.7 Engrases

Los engrases utilizados en la fabricación de elementos presforzados no son más que mangueras con la función de evitar la adhesión que sucede entre el concreto y cualquier acero al estar en contacto uno con el otro. Dichas mangueras son cortadas de acuerdo a las dimensiones de la trabe formándose paquetes de torones dependiendo de la longitud de los engrases.

Es común que los diámetros de las mangueras tengan las dimensiones mayores al diámetro del torón más un excedente por tolerancia que no supera $1/4$ ".

5.8 Colocación de placas guía, tapones y tacones para trabe

El proyecto estructural regirá el tipo de habilitado que se utilizara para las placas guía, tapones y tacones de trabes, por lo general este último es fabricado con anticipación.

El tamaño de placas y tacones se estandarizan para facilitar el aprovechamiento de los mismos y las perforaciones que alojaran a los torones deberán tener el espacio suficiente para restringir el sangrado de lechada y evitar posiciones inadecuadas de los torones.

5.9 Enhebrado de cable

El enhebrado de los torones es una actividad que consiste en colocar cada uno de los cables dentro del gato hidráulico para generar de manera ordenada esfuerzo en el elemento; en campo este método también es conocido como peinado de torones.

La ejecución de esta actividad dependerá del tipo de trabe que se pretenda fabricar; sin embargo en el caso de la fabricación de las trabes cajón (tema de esta tesina) el enhebrado se deberá realizar previo a la colocación del aligeramiento. En algunos casos el enhebrado se realiza independiente del molde con el equipo con el que se mete el armado previamente puesto, esto propicia tener suficientes anclajes dobles para que unan los cables entre cada elemento, otra opción podría ser meter el armado al mismo tiempo.

Las trabes cajón suelen tener grandes cantidades de acero de refuerzo conformado por una losa con parrilla inferior y una parrilla superior, dentro de ella se encuentran los espacios para posicionar la gran mayoría de los cables. Además las trabes cuentan con acero negativo posicionado en la zona alta de la trabe, en esta posición el enhebrado obligatoriamente se ejecuta hasta que el armado este dentro del molde.

Una actividad importante consiste en realizar la colocación mangueras que funcionaran como engrases para romper la adherencia entre el concreto y los torones como se vio en temas pasado. Durante este proceso se cuida en todo momento la posición de los cables, verificando que no se crucen entre si, enumerando cada uno de los orificios de las placas guías y colocando una placa al centro de la trabe.



Figura 42. Enhebrado típico de torones a gato hidráulico.

5.10 Tensado de cables longitudinales

Posterior al enhebrado de los torones, uno por uno se tensará con ayuda de gatos hidráulicos. La fuerza de tensado para cada torón se establecerá en el proyecto estructural, dicha fuerza deberá corroborarse con equipos especiales de medición como son manómetros conectados directamente al sistema del gato hidráulico y de esta manera indicar los esfuerzos inducidos durante la operación de pretensado o postensado.

5.10.1 Tensado según la N-CTR -CAR-1-02-007/01

Según la norma N-CTR-CAR-1-02-007/01 “*Estructuras de concreto presforzado*” existen requisitos fundamentales para lograr el tensado deseado en cada elemento, alguno de ellos son los siguientes:

- Para casos de elementos postensados, el tensado inicial se iniciará después de que el concreto ha adquirido al menos el 80 por ciento de la resistencia a compresión y se verificará que los cables se deslicen correctamente dentro de los ductos.
- El tensado total se realizara una vez que el concreto ha adquirido la resistencia final establecida en el proyecto.
- Las elongaciones de cada torón deberán ser medidas en el extremo del cable o en ambos lados cuando se tense por los dos lados.
- Terminados los procesos de tensado, se tendrá una tolerancia de 24 horas para rellenar los ductos con lechada de cemento en el proporcionamiento establecido en el proyecto.

5.10.2 Tensado Manual de calidad en procedimientos de prefabricación Anippac

De acuerdo al manual Anippac, el tensado se realizara torón por torón en forma simétrica (vertical-vertical y horizontal-horizontal) manteniendo el centro de gravedad en su posición original en todo momento para evitar el levantamiento de las placas guía y transversales.

Únicamente se requerirá de personal autorizado durante las labores de tensado y se deberán apegar los procesos a los estándares de seguridad de la planta. Dentro de los requisitos previos se revisará la correcta posición y dimensiones de los anclajes.

Es común que se lleve un control de tensado por medio de graficas esfuerzo-deformación; además, se deberá verificar si las tolerancias de deformaciones del elemento y el torón se encuentran dentro de las aceptables en el proyecto.

Como las travesaños pueden presentar acero positivo o acero negativo el proceso de tensado dependerá del tipo de refuerzo que se requiera. Por ejemplo, para travesaños con acero negativo es necesario insertar primero el aligeramiento y posterior se ejecuta el tensado, mientras que para travesaños con acero positivo el proceso es inverso.



Figura 43. Tensado de torones.

5.10.3 Esfuerzo-deformación

El comportamiento de la grafica esfuerzo deformación dependerá del diámetro del torón que se utilice para presforzar el elemento deseado. Es vital comprender que una de las características del acero de presfuerzo es que este no presenta un esfuerzo de fluencia definido, por lo tanto el esfuerzo se calcula como el que corresponde a una deformación unitaria de 1.0 por ciento.

Por ejemplo para un torón de 3/8" se observa que el esfuerzo correspondiente a esa deformación va entre 9,000 y 9,500 kg/cm² que corresponde a aceros normales y de bajo rendimiento. Una vez iniciada la fluencia tendrá un comportamiento gradual hasta producirse la falla. Es común que los torones presentes esfuerzos máximos al 0.8 fsr y esfuerzos de servicio final que varían entre 15% y 30% menor que la fuerza de tensado, esto es provocado principalmente por las pérdidas de presfuerzo que surgen comúnmente por: desviación de torones, acortamiento elástico, relajación instantánea, contracción, etc.

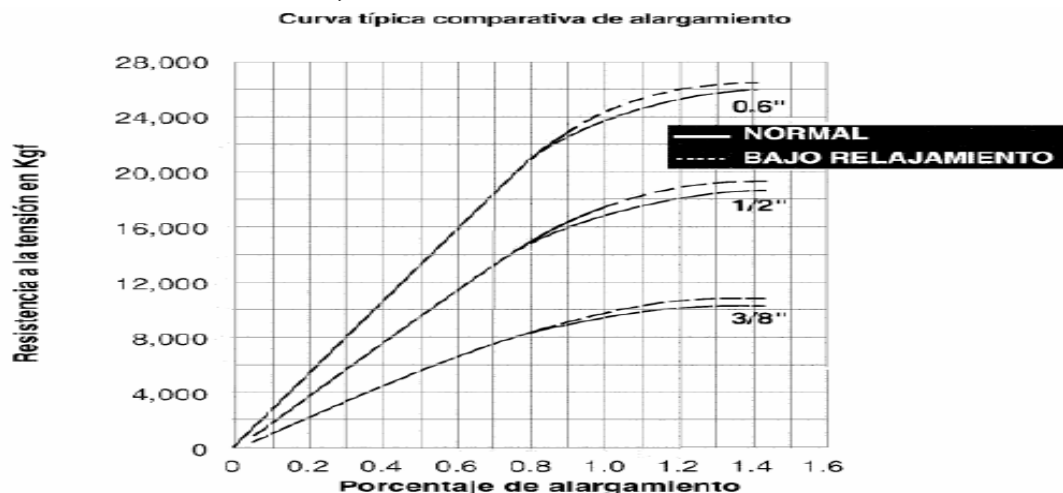


Tabla 11. Gráfica de esfuerzo—deformación de acero de presfuerzo.

5.11 Cimbra de aligeramiento

En trabes cajón el aligeramiento del centro de su sección permite reducir su peso y facilitar el apoyo de elementos como prelosas sobre ellas. Para poder lograr esto, es necesario realizar un proceso de aligeramiento por medio de cimbras especiales.

El proceso consiste en limpiar los módulos que compones al mismo cajón de tal manera que permita iniciar los trabajos de armado de la pieza. Durante este proceso es fundamental contar con un bastidor atornillable que evite el movimiento de los módulos de la trabe, por lo tanto deberá existir una unión fija entre los módulos y el bastidor. Para recuperar la cimbra restante es necesario realizar cortes o ventanas que tengan el espacio suficiente para ser extraídas.

5.12 Armado de losa o firmes de compresión

Para unir un firme de compresión o losa a una trabe cajón es necesario en ocasiones realizar colados o presfuerzos en sitio, de tal manera que se garantice una unión monolítica entre ambos elementos.

El armado de las losas suelen tener dos parrillas (inferior y superior) tal como se vio en el capítulo 5.10 de esta tesina, la parrilla superior está formada por barras longitudinales y cables de presfuerzo transversal, mientras que la inferior está compuesta por varillas en ambos sentidos.

El armado inicia desde la parrilla inferior colocando separadores para garantizar el recubrimiento del acero y evitar exposición a la misma. Para el acero positivo de las trabes cajón, se deberá proceder con el paso de enhebrado de torones y finalizar con la parrilla superior, dejando los torones libres de amarres al acero de refuerzo.

5.13 Dosificación de la mezcla

Previo a la colocación y compactación del concreto es trabajo del laboratorio de control y calidad revisar el correcto diseño de mezcla al menos con 24 horas de anticipación al colado. La planta PRET cuenta con la ventaja de tener una dosificadora que permite suministrar concreto en los elementos, la dosificación se basa en el análisis de componentes principales como en casi todas las dosificadoras del país. Esto permite que la mezcla sea medida por masa o volumen de concreto, permitiendo medir o bachear con precisión cada componente de la revoltura. Se especifica que cada bachada de los materiales medidos cuenten con una precisión que sea del: $\pm 1\%$ para el agua, $\pm 1\%$ para material cementante ocupado, $\pm 3\%$ aditivos y $\pm 2\%$ agregados. En México, las plantas de prefabricados rigen su dosificación y proporcionamiento con base en la norma mexicana NMX-C-155-2004, en donde entre otras cosas se consideran los tipos de mezclado y la calidad que debe contar los insumos para realizar la mezcla.

5.13.1 Medición

En algunos manuales de control y calidad en la producción de plantas de concreto como el PCI MNL-116 y MNL-117 se recomienda que las basculas utilizadas para pesar el cemento ,agregados y la presión del agua durante la dosificación se encuentren aisladas entre si y balanceadas perfectamente. Se realizara mantenimientos preventivos por personal capacitado para garantizar perdida de calibración de básculas y dispositivos de medición del agua.

Una vez logrado el diseño de mezcla otorgado por el laboratorio, se procede a autorizar el colado.



Figura 44. Dosificadora de concreto en PRET La arboleda.

5.14 Colado

5.14.1 Colocación

En la colocación del concreto en plantas prefabricadas o presforzadas es común considerar como parámetro principal el revenimiento que tenga la mezcla el cual se apega a lo establecido en la norma mexicana NMX-C-156-1997-ONNCCE. Cuando el revenimiento es bajo se permite un colado por capas, este permite garantizar continuidad, consolidado de la mezcla uniforme y un acabado lo más atractivo posible. Es común que el valor de revenimiento sea 10 cm para concreto sin aditivos y con una correcta relación agua-cemento; Sin embargo para mezclas proporcionadas con aditivo se estiman valores entre 18 a 20 cm.

Las capas de concreto suelen ser menores de 50 cm y deberán ser continuas cubriendo perfectamente las zonas hasta el nivel de colado establecido en proyecto. Se verificara que el acero de refuerzo, acero de presfuerzo, ductos, dispositivos de izaje y todos los equipos

especiales queden perfectamente adheridos a la mezcla. Las temperaturas de colado no deberán variar en menos de 10°C ni mayores a 35°C, si el clima es considerado severo se podrá utilizar las normas ACI 305 y ACI 306.

5.14.2 Compactación del concreto

Para garantizar que el concreto se coloque uniformemente en la mesa de colado, reduciendo el contenido de vacíos en él y evitando la concentración de agregados en ciertos puntos del elemento; es vital consolidar el concreto con cualquier tipo de vibrador. Los vibradores más usados suelen ser vibradores de motor de combustión, eléctricos, hidráulicos o neumáticos su uso está empleado dependiendo entre otras cosas con el volumen a compactar, la velocidad de compactación deseada, el peso, tamaño y tiempo requerido dependiendo las dimensiones de las secciones.

El tiempo de vibrado en vibradores de inmersión como los anteriores mencionados, será en un promedio de entre 5 y 15 segundos, con una separación entre cada inmersión de 45 a 75 cm. (El ACI considera que la separación deberá ser de 1.5 veces el radio de acción).



Figura 45. Colocación y compactación del concreto.

5.15 Curado a vapor

Si bien cualquier método de curado es fundamental para la obtención de la resistencia final del concreto y para prevenir agrietamientos producidos por contracción plástica. El curado a vapor utilizado en la fabricación de cualquier elemento prefabricado y pretensado permite otorgar a la pieza resistencias tempranas en periodos no menores a 3 días, reduciendo el proceso de hidratación e incrementando la producción en serie de los elementos.

Se pueden utilizar dos métodos para desarrollar su resistencia:

1) Curado con vapor a la presión atmosférica

2) Curado a alta presión en autoclave

De estos dos métodos el primero se utiliza en elementos estructurales cerrados, moldeadas en sitio y en elementos prefabricados de gran tamaño. El segundo se utiliza si bien también para elementos prefabricados, pero es aplicable para piezas de menor tamaño.

5.15.1 Curado con vapor a la presión atmosférica

Una vez con colado el elemento y accionada la cámara de vapor añadida a la mesa de colado, es común que se utilicen lonas impermeables que ayuden a conservar la humedad del concreto y las variaciones de calor que son transmitidas por el vapor. El aporte de vapor en el molde debe aplicarse al menos de dos a cinco horas después de colocar el concreto de tal manera que se permita un cierto porcentaje de su fraguado final y el alcance de una resistencia inicial del elemento.

Las temperaturas del vapor no deberá estar por encima de los 82° C ya que puede producir en el elemento un reducción de su resistencia y hace antieconómico el curado. Se recomienda tener temperaturas de vapor que no superen los 65°C ya que si se incrementa a no más de 80° no hay incrementos significativos y se vuelve antieconómico. Es importante evitar en medida de lo posible velocidades de calentamiento y enfriamiento excesivos que deterioren el concreto debido a los cambios volumétricos ocurridos durante este proceso. Además, se evitará alteraciones a la temperatura del vapor mayores de 22°C dentro del molde.

5.15.1.1 Temperatura y duración

La temperatura máxima del vapor se mantendrá constante hasta que el elemento haya alcanzado la resistencia establecida en el proyecto.

La duración del curado depende de múltiples factores como la protección contra pérdidas de humedad, el tipo de cemento utilizado, la dosificación previa de la mezcla, la resistencia especificada de los elementos, la sección y geometría de los mismo y por supuesto el ambiente al que estará sometida la pieza. Es recomendable ampliar el tiempo de curado si es posible para potencializar las propiedades del concreto y reducir las fisuras por contracción.

En el caso de concreto presforzado para garantizar la resistencia del elemento se emplea curado a vapor mucho más rápido, reduciendo un curado a vapor tradicional de 7 a 3 días manteniendo el concreto a una temperatura mínima de 10°C y sin variaciones de ella.

En la siguiente figura se muestra el ciclo del curado y las recomendaciones de inicio de curado, incrementos y enfriamiento del concreto.

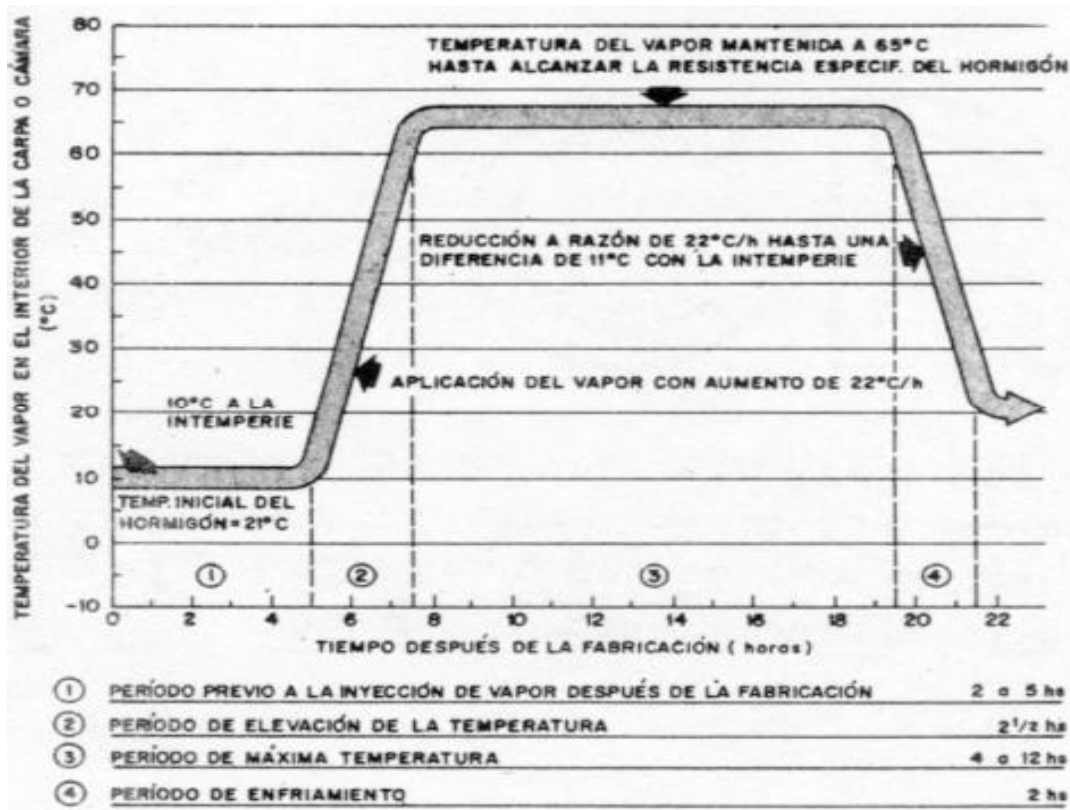


Figura 46. Ciclo de curado a vapor a presión atmosférica.

5.16 Muestreo

De acuerdo a lo establecido por la norma mexicana NMX-C-160-ONNCCE- 2004, es conveniente que después del colado de cualquier elemento se guarden al menos dos especímenes que servirán para posteriormente realizar la prueba de compresión del concreto.

Se realizará al menos una muestra de masa unitaria por cada día de colado tal como lo dicta la norma mexicana NMX-C-162-ONNCCE-2000.

La temperatura del concreto se medirá al menos una vez por cada 60 m³ o fracción, esto aplica cuando la temperatura ambiente sea menor 7°C o mayor a 32°C.

Para concretos con contenido de aire incluido se deberá seguir la norma mexicana NMC-C-162-ONNCCE-2000 y deberá realizarse al menos una prueba en la entrega del concreto o bien, para producciones continuas cada 12 m³.

Además es conveniente determinar el modulo de elasticidad cuando el cliente lo solicite, para este fin se deberá apegar a la norma mexicana NMX-C-128-ONNCCE-2000.

5.16.1 Prueba de resistencia a la compresión

Como se comento en el punto anterior, el muestreo de especímenes de concreto permitirá tener una referencia de la resistencia del concreto para el destensado de los cables.


Durante el colado se deberá sacar un total de 15 muestras de concreto, 5 estarán situadas a cada extremo y 5 más en el centro. De esos muestreos en cada zona, se ensayaran 2 a los 14 días, 1 a 28 días y la última sirve como reserva por cualquier eventualidad.

En el laboratorio de control y calidad de la planta, existirá un cuarto de curado que mantendrá en perfectas condiciones de humedad las muestras hasta el día en que se ensayaran a compresión. Se deberá contar en el laboratorio con al menos una prensa perfectamente calibrada y con la capacidad suficiente para comprimir las probetas y llevarlas a la falla.

El resultado de las pruebas se comparará con la resistencia de diseño establecida en el proyecto, verificando que se cumpla lo establecido en la norma mexicana NMX-C-155-ONNCE-2014.

Cuando el concreto ha alcanzado el 80% de la resistencia de diseño, entonces se considerara como acertada la prueba y por lo tanto se garantiza que durante el destensado el elemento tenga la suficiente resistencia para recibir la concentración de esfuerzos de los torones.

Es común que en la planta PRET para determinar la resistencia de diseño adquirida en cualquier elemento se utilice el siguiente formado.

	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DEL LABORATORIO CENTRAL PRET	CÓDIGO
		PRET-MPL-PGL-01
		A3 REV. 1
PROCEDIMIENTO:	DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO	
REGISTRO:	INFORME DE RESISTENCIA A COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO	

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;">Datos de proyecto</td></tr> <tr><td style="width: 50%;">f'c (kg/cm²):</td><td>Rev. (cm): _____</td></tr> <tr><td></td><td>TMA (mm): _____</td></tr> <tr><td>f'ci (kg/cm²):</td><td>Concreto tipo: _____</td></tr> <tr><td></td><td>Resistencia: _____</td></tr> <tr><td colspan="2">Elemento colado: _____</td></tr> </table>	Datos de proyecto		f'c (kg/cm ²):	Rev. (cm): _____		TMA (mm): _____	f'ci (kg/cm ²):	Concreto tipo: _____		Resistencia: _____	Elemento colado: _____		<table style="width: 100%;"> <tr><td>Fecha de reporte: _____</td><td>Reporte N°: _____</td></tr> <tr><td>Planta Premez: _____</td><td>Hoja: _____</td></tr> <tr><td>Cliente: _____</td><td></td></tr> <tr><td>Obra: _____</td><td></td></tr> <tr><td>Ubicación de la obra: _____</td><td></td></tr> </table>	Fecha de reporte: _____	Reporte N°: _____	Planta Premez: _____	Hoja: _____	Cliente: _____		Obra: _____		Ubicación de la obra: _____	
Datos de proyecto																							
f'c (kg/cm ²):	Rev. (cm): _____																						
	TMA (mm): _____																						
f'ci (kg/cm ²):	Concreto tipo: _____																						
	Resistencia: _____																						
Elemento colado: _____																							
Fecha de reporte: _____	Reporte N°: _____																						
Planta Premez: _____	Hoja: _____																						
Cliente: _____																							
Obra: _____																							
Ubicación de la obra: _____																							

Muestra N°	Fecha de colado	Elemento y localización	Fecha de prueba	Rev. obt. (cm)	Area (cm ²)	Carga de ruptura en kgf (N)	Resistencia en kgf/cm ² (N/mm ²)		Edad de ensaye (días)	Curado empleado
							Obtenido	Promedio		

<table style="width: 100%;"> <tr><td>Masa unitaria del concreto fresco (kg/m³): _____</td></tr> <tr><td>Contenido de aire (%): _____</td></tr> </table>	Masa unitaria del concreto fresco (kg/m ³): _____	Contenido de aire (%): _____	Normas aplicables: _____
Masa unitaria del concreto fresco (kg/m ³): _____			
Contenido de aire (%): _____			
<small>Este informe solo afecta a la(s) muestra(s) aquí indicada(s).</small> Observaciones: <div style="height: 50px;"></div>			

Realizó Laboratorista	Revisó Siguarieto Autorizado	Enterado
_____ Nom. y firma	_____ Nom. y firma	_____ Nom. y firma

Figura 47. Informe típico de pruebas de resistencia empleadas en PRET.



Figura 48. Prensa hidráulica del laboratorio de control y calidad de PRET “La Arboleda”.

5.17 Extracción

Una vez comprobada que la resistencia a compresión de los cilindros probados en el paso anterior se apega a lo establecido en el proyecto y al menos tiene una resistencia de f'_c del 80%, se deberá cortar individualmente cable por cable simultáneamente a ambos extremos de la trabe y cortados alternadamente con respecto al eje centroidal del elemento, con esto se gana un control de esfuerzo uniforme y se reduce el agrietamiento en el miembro.

Para que el golpe producido por el corte del torón no sea tan severo es común aplicar calor con soplete en una longitud de 10 a 20 cm en la zona donde se desea realizar el corte.

Una vez liberado el elemento, se retira los elementos adicionales de presfuerzo transversal (si es que los tiene). Entonces, se procede a extraer la pieza, esto se logra en la planta con grúas pórtico MI JACK, en otras plantas se acostumbra también a usar grúas tradicionales o viajeras. Para facilitar el retiro se debe verificar que los elementos cuenten con accesorios de sujeción o izaje como ojeras que son capaces de soportar el esfuerzo de extracción producido por el jalón del marco y por supuesto el peso propio del elemento. La localización de las orejas dependerá del tipo del elemento y se deberá realizar un cálculo estructural que garantice la zona menos crítica y el procedimiento adecuado de extracción.



Figura 49. Extracción de trabe cajón del molde con Marco Mi Jack.

5.18 Estibado o almacenamiento

El área de almacenamiento de la planta deberá contar con el espacio suficiente de tal manera que permita un estibado adecuado de los elementos, estos serán separados entre sí por medio de barros o durmientes que sean capaces de resistir el peso propio del elemento. Los apoyos se deberán alinear verticalmente a distancias que no comprometan el choque entre los elementos y que facilite su retiro al momento de ser solicitados por el cliente. Queda estrictamente prohibido almacenar elementos de diferentes tamaños y longitudes sin previo análisis de que el elemento inferior soporte la carga en el punto en el que se aplique.

Los elementos deberán contar con dos apoyos al momento de ser almacenados, colocados en puntos cercanos a donde fueron izados o manejados; si por condiciones geométricas no se puede lograr este almacenaje se revisara la condición mas optima que garantice el nulo daño estructural de la pieza.

En algunas ocasiones el numero de apoyas será mayor; sin embargo, se deberá verificar que los apoyos no queden expuesto a asentamientos diferenciales relacionados con la baja capacidad de carga del suelo y el alto peso de los elementos.



Figura 50. Trabajos de almacenamiento de traves cajón.

5.19 Detallado del elemento

Una vez que la pieza ha sido extraída del molde, las labores de detallado inician al momento de inspeccionar posibles defectos de apariencia en el elemento. Es común que se encuentre presencia de cacarizos producidos por la falta de vibrado durante el colado, desportilladuras por el exceso de fuerza con el que se extrae la pieza o por posibles golpes generados con la mesa de colado, puntas de torones fuera del elemento producido por la falta de cuidado al momento de cortar los torones (se arregla fácilmente con el esmeril) o bien defectos geométricos y niveles del elemento, los cuales se deberán reducir al máximo y en caso de aparición deberán satisfacer las tolerancias marcadas en el reglamento. Una solución para evitar irregularidades geométricas, es llevar un control de niveles durante cada proceso de fabricación de las traves o de cualquier elemento, desde el habilitado del acero, tensado de torones, colado e incluso momentos previos a la extracción de las piezas.

El resane es el método más empleado en esta última etapa de de producción, permite arreglar golpes y despostilladuras a través de grout y materiales adhesivos; también es común en esta etapa realizar las siguientes actividades:

- 1.-Remarcado de identificación y la orientación de montaje.
- 2.-Verificar drenes.
- 3.-Colado de parapeto para trinchera.
- 4.-Limpieza de accesorios.
- 5.-Recuperación de cimbra de aligeramiento, entre otros.



Figura 51. Ejemplo del proceso de detallado en un capitel encomendado a PRET.

5.20 Revisión de tolerancias

Cada elemento estructural deberá ser fabricado con las especificaciones establecidas en el proyecto. Actualmente el Manual de calidad en procedimiento de prefabricación y el Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas del anippac, nos proporcionan especificaciones de tolerancias admisibles que serán aceptadas para fines de producción en diferentes elementos prefabricados. Los detalles más comunes se refieren principalmente a errores de longitud, ancho, peralte, espesor, posición de placas, hundimiento de placas, posición de dispositivos de izaje, entre otros. Si los errores superan las tolerancias marcadas en el proyecto o en los manuales correspondientes, el elemento será rechazado.

5.21 Carga

La carga es el proceso de maniobras necesarias para poder colocar el elemento en cualquier transporte establecido en el proyecto, hasta el sitio de montaje. Para poder cargar un elemento es necesario que este sea solicitado por el cliente, por lo cual no deberá enviarse sin antes tener la autorización de producción y de la supervisión que garantiza el control de calidad en la fabricación de la pieza. Se deberá prevenir que la carga no afecte ninguna actividad que motive el retraso o genere riesgo dentro de la planta. Para esta actividad se deberá contar con equipo y accesorios capaces de soportar las maniobras con seguridad y sin que dañen las piezas tales tractores, pórticos, estrobos, arneses, ojales, etc.

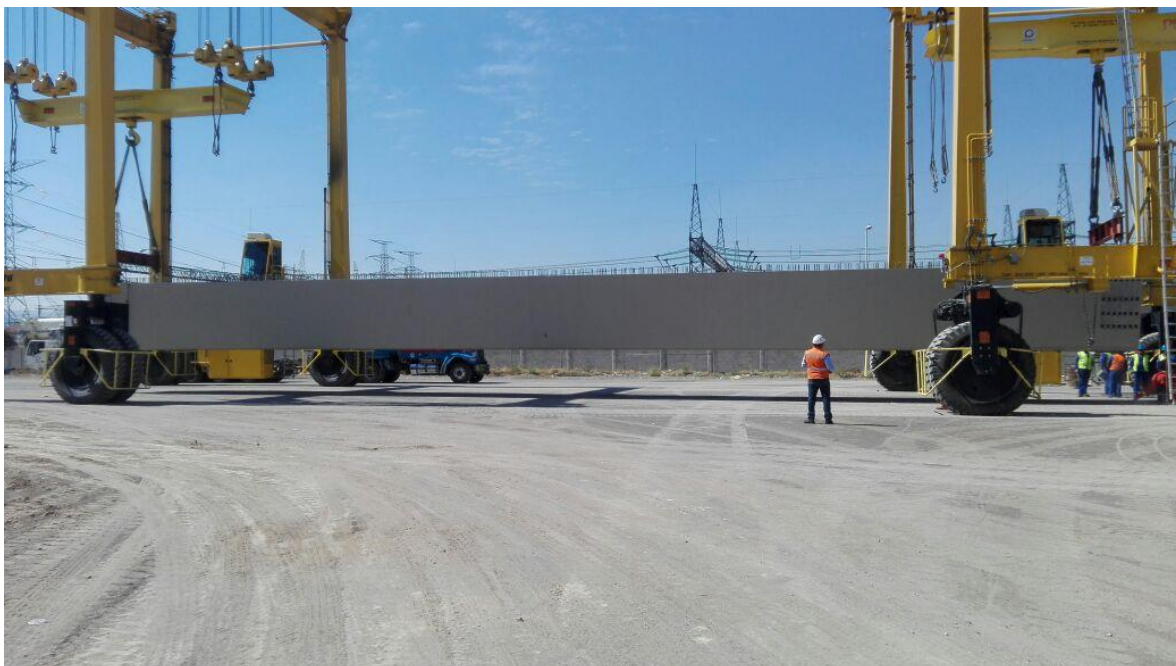


Figura 52. Carga de trabe cajón hasta el medio de transporte

5.22 Transporte

Es práctica común que el transporte de traveses cajón se realice con tracto camiones especiales, los cuales son considerados como vehículos destinados a soportar y arrastrar semirremolque y remolques. En el caso de traveses cajón estos camiones deberán contar con una plataforma o Dolly que será de acuerdo a las dimensiones y peso del elemento. El tracto camión es común que tenga una motor diesel con potencia que va desde 300 a 450 HP. Deberá prepararse durante la carga y cuidar durante el transporte todas las zonas de apoyo, ductos para cadena y cadena de gatas con la finalidad de evitar el movimiento o deslizamiento del elemento durante el transporte

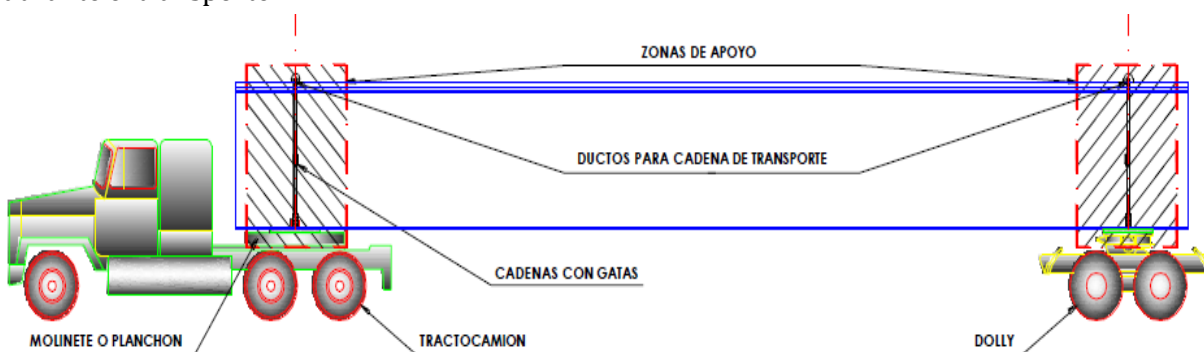


Figura 53. Elementos y arreglos de arneses para transportar traveses cajón.

Los transportes deben realizarse por empresas que cuenten con registro en la SCT y para el caso de traveses cajón se deberá efectuar el flete con transporte permitido por las normas, esto implica que el peso y las dimensiones de la trabe no sobrepasan lo establecido en los reglamentos federales o locales. Para casos contrarios se utilizara equipo especializado. El

costo del flete dependerá de la distancia y complejidad por recorrer, factor que puede influir en el costo total del prefabricado si supera los 350 km pues representaría más del 20% del valor de la pieza.



Figura 54. Salida de elemento de la planta.

El transporte de las piezas es uno de los procesos que debe planearse minuciosamente debido a que en muchas ocasiones durante el proceso de envío no se toman en cuenta posibles restricciones vehiculares regidas por las dimensiones de la pieza y las maniobras necesarias para poder atravesar vialidades. Es práctica del ingeniero encargado del transporte de los elementos, revisar las posibles afectaciones ambientales y vehiculares que se pueden producir durante un envío de alguna pieza y considerar para su análisis la posibilidad de transportar elementos en horarios nocturnos con periodos de 6 horas. Los conflictos más comunes que se presentan durante la planeación para el transporte de un elemento suelen ser:

- No cumplir con el radio máximo de giro de avenidas.
- Interferencias en la zona de montaje
- Obtención de permisos especiales para transporta elementos o permisos de obras inducidas.

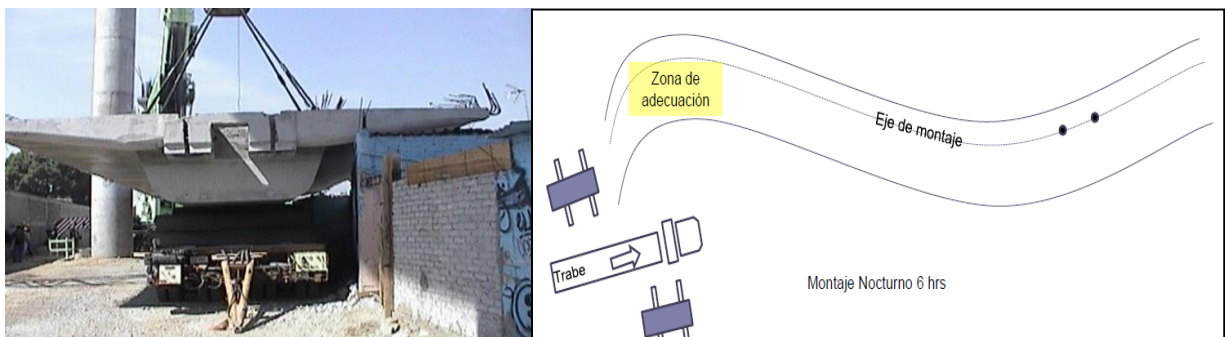


Figura 55. Restricciones comunes en transporte de elementos presforzados.

CONCLUSIÓN

A pesar de que la necesidad de transporte entre la Ciudad de México y el Estado de México ha motivado la creación de un gran número de proyectos en beneficio de estas dos grandes urbes. La construcción del Tren Interurbano México-Toluca garantizará que un gran número de pasajeros pueda viajar a sus hogares y trabajos reduciendo el tráfico en ambas ciudades, facilitando la movilidad con transporte multimodal y por supuesto, velando por la seguridad del medio ambiente por contaminantes.

El proceso constructivo empleado para la construcción de cada tramo y cada estación, deberá garantizar una obra que otorgue en su culminación seguridad, confianza y bienestar para cada pasajero. Es por eso que para lo que compete esta tesina, la producción de cada elemento del tramo III otorgada a PRET, deberá garantizar los requisitos básicos de resistencia y durabilidad marcados en el proyecto.

Pero, ¿Cómo garantizar la resistencia y durabilidad de los elementos?

En la actualidad el control de procesos, servicios, insumos y productos empleados para cualquier obra de infraestructura, debe dirigirse a una búsqueda continua de calidad, economía y funcionalidad.

La industrialización de la producción es una herramienta que permite planear y gerenciar cada proceso de fabricación, obteniendo elementos de primera calidad en plantas de prefabricados, garantizando la seguridad, resistencia, apariencia y durabilidad de cada pieza.

Para lograr que esta herramienta tenga éxito, será vital garantizar la certificación de los materiales, instalaciones y procesos de fabricación utilizados en las plantas de producción de elementos prefabricados y presforzados, siguiendo estándares internacionales y normas que se apeguen a las condiciones de producción de nuestro país.

Los beneficios de construir con elementos prefabricados, es que ayuda a tener mayores rendimientos en los avances físicos en obra, se reducirá considerablemente el tiempo de ejecución en cada cadenamiento y por supuesto se tendrá un mayor control en el programa de obra del proyecto general.

Es por eso que los elementos prefabricados y presforzados, seguirán siendo una excelente opción para desarrollar proyectos en poco tiempo, con características estructurales más eficientes y una relación costo-mantenimiento bastante atractiva.

BIBLIOGRAFÍA

- **Diseño de concreto reforzado, JACK C. McCORMAC - RUSSELL H. BROWN. Octava edición. Edición 318-08 del Código ACI.**
- **Manual de Calidad en procedimientos de prefabricación, comité ANIPPAC.**
- **Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas. ANIPPAC, Instituto de Ingeniería.**
- **NTC, Diseño de estructuras de concreto reforzado. Capitulo 9 “Concreto presfozado”**
- **Estiba, transporte Y montaje De estructuras prefabricadas. SMIE, Ing. Antonio Argueta Hernandez.**
- **PCA, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association.**
- **Organismo Nacional de Normanilización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., Norma Mexicana NMX-C-407-ONNCCE-2001, Industria de la Construcción – Varilla Corrugada de Acero Proveniente de Lingote y Palanquilla para Refuerzo de Concreto – Especificaciones y Métodos de Prueba, México (2001).**
- **Norma Mexicana NMX-B-506-CANACERO-2011, industria siderúrgica – varilla corrugada de acero para refuerzo de concreto – Especificaciones y método de prueba, México (2011).**
- **Organismo Nacional de Normanilización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., Norma Mexicana NMX-C-155-ONNCCE-2014, Industria de la Construcción – Concreto hidraulico – Dosificado en masa- Especificaciones y métodos de ensayo, México (2014).**
- **Organismo Nacional de Normanilización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., Norma Mexicana NMX-C-156-ONNCCE-2010, Industria de la Construcción – Concreto hidraulico – Determinación del revenimiento en el concreto fresco, México (2010).**
- **Organismo Nacional de Normanilización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., Norma Mexicana NMX-C-122-ONNCCE-2004, Industria de la Construcción – Agua para concreto – Especificaciones, México (2004).**
- **ASTM C494/C494M, Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto.**
- **Precast Prestressed Concrete Institute (PCI), Tolerance Manual & Structural QC Manual.**
- **Convocatoria al procedimiento por licitación pública nacional LO-909005989-N9-2014 (909005989-DGOP-F-011-14), “Trabajos de construcción y obras complementarias del tramo 3 para el viaducto elevado del tren interurbano Toluca -Valle de México”.**
- **Normatividad para la infraestructura del transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (NIT-SCT), N-CTR-CAR-1-02-004/02, N-CTM-2-03-001/07, N-CTR-CAR-1-02-007/01.**