



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“PROCESO DE ELABORACIÓN,
ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y
MONTAJE DE DURMIENTES MONOBLOQUE
DE CONCRETO PRESFORZADO DE LA LÍNEA
12 DEL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

ANGEL ARVIZU SALAS.



**DIRECTOR DE TESIS:
ING. SERGIO MACUIL ROBLES**

CIUDAD UNIVERSITARIA.

MARZO, 2012.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater la Universidad Nacional Autónoma de México

A la Facultad de ingeniería.

Al ingeniero Sergio Macuil Robles, por brindarme su apoyo en todo momento, y proporcionarme las herramientas necesarias para desarrollar mi tesis y ser director de la misma.

Al ingeniero Luis Zarate Rocha, por ser mi profesor de asignatura, por brindarme su apoyo y conocimientos para el desarrollo de mi tesis.

Al ingeniero Ing. Carlos Chavarri Maldonado ya que fue quien me motivo para comenzar el desarrollo de mi tesis y mostrarme que las cosas son tan sencillas como quiera uno.

De planta PRET. Ingeniera Diana Pérez Maldonado.

De vías electromecánica línea 12 ingeniero Adán Rosales.

A mi compañero y amigo el ingeniero Esteban David Alberto Vargas

A mis compañeros con los que tuve la oportunidad de convivir en diferentes asignaturas.

A MIS PADRES

Roberto Arvizu Chaires y Ángela Salas Martínez, las palabras que he aprendido a lo largo de mi carrera universitaria como en la vida, no son suficientes para agradecerles lo que han hecho por mí. Por su apoyo incondicional y por los sacrificios que hacen en cada momento para prepararme profesionalmente. Le agradezco a la vida por haberme dado la muerte de mi padre y dejar en vida a madre con quien ahora puedo compartir este logro que mi papá ya no pudo disfrutar en vida. Así como mi hermano Juan. Recuerden que los amo.

A MIS HERMANOS

Roberto

Gracias, por brindarme tu apoyo en todo momento, por consagrarte a mis padres para ayudarlos a sacar adelante a sus hijos sin preocuparte por ti, desde aquel momento en que me enseñaste que había dos caminos por los cuales uno puede decidir su andar, opte gracias a ti por el estudio y espero no haberte defraudado, y este agradecimiento es extensivo por el resto de mi vida. Por darme esta carrera, tu apoyo moral y económico sin escatimar en estos.

Samuel

Gracias, por preocuparte por mí en el momento adecuado, y llevarme de vuelta al camino del que nunca me debí haber desviado, por compartir conmigo tus triunfos, y hacerme ver que uno puede llegar hasta donde uno quiera.

Fidela te enviamos a mi hermano Juan y a mi papá, para que te acompañen y los cuides, te quiero y te mando un beso.

Nico

Gracias, por quererme tanto y ser como eres, sentimental y trabajadora como mi madre. Por darme consejos y apoyo en todo momento, así también hago extenso este agradecimiento a tu esposo Humberto por quererte y cuidarte como lo ha hecho.

Cris

Gracias, por darme felicidad con haber traído al mundo a esos dos angelitos, por tus consejos y dedicación a tus hijos y esposo. Por darme consejos y apoyo en todo momento, así también le agradezco de igual manera a tu esposo David por quererte y cuidarte como lo ha hecho.

Juan

Gracias, Por los años que compartiste con nosotros aunque me hubiera gustado que disfrutaras este logro con nosotros, pero sé que la vida decidió que solo estuvieran tus hijos y tu esposa acompañándonos, te quiero mucho y gracias nuevamente por haber sido mi hermano y las lecciones de vida que aprendí de ti. Este agradecimiento lo hago extenso a tu esposa Martha.

Roge

Gracias, por ser como eres y saber que eres feliz, mostrarme que no hay imposibles, que a la edad que tú fuiste papá, me ha enseñado que uno puede salir adelante. Gracias por preocuparte por tu esposa e hijos y hacerlos unos hombres de bien, gracias por tus consejos y apoyo incondicional en todo momento, este agradecimiento lo hago extenso a tu esposa Isabel.

A MI HERMOSA HIJA

Janet

“La fuerza de mi corazón ha de probarse aceptando el reto de la esfinge y no esquivando su interrogación formidable”.

Este logro que comparto contigo ha sido posible gracias a ti, ya que tú fuiste quien me dio la fuerza para lograr este objetivo, pequeña déjame decirte en verdad que te amo y eres lo mejor que pudo haberme pasado en la vida, espero ser el mejor padre así como tu mejor amigo. Estudia mucho para poder dominar la técnica que permite dominar la naturaleza. Acuérdate que la educación es lo importante y que cada uno de nosotros, solo, no vale nada. Te amo

A MIS SOBRINOS

Con todo mi amor, en agradecimiento por la comprensión siempre brindada. Sabiendo que la única forma de agradecerles es no defraudarlos, quiero que sientan que el objetivo logrado también es suyo.

Nayeli Arvizu

Alejandra Arvizu

Rogelio Arvizu

Oscar Arvizu

Ángela Arvizu

Mariana Arvizu

Karen Valdez Arvizu

Jimena Arvizu

David Valdez Arvizu

A EL AMOR DE VIDA

Leidi Diana López Mora

Nunca podría haber llegado tan lejos, siempre he tenido una gran mujer a mi lado, con todo mi amor te doy Gracias por existir, eres lo primero, lo ultimo y mi todo, tu eres la respuesta a todos mis sueños, la estrella que me guía, deseo llenarte de amor hasta el día de mi muerte. Te amo.

“El tiempo es:

Muy lento para los que esperan, muy rápido para los que temen, muy largo para los que sufren, muy corto para los que gozan; pero para quienes aman, el tiempo es una eternidad.”

William Shakespeare.

TEMA: “PROCESO DE ELABORACIÓN, ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y MONTAJE DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO DE LA LÍNEA 12 DEL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO”

OBJETIVO: MOSTRAR EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA FABRICACIÓN DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO PARA LA LÍNEA 12 DEL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES.....	9
1.1 TIPOS DE DURMIENTES EN PROYECTOS FERROVIARIOS.....	9
1.2 CLASIFICACIÓN DE DURMIENTES.....	10
1.3 CRITERIOS DE DISEÑO APLICADOS A DURMIENTES	12
1.4 USO Y APLICACIÓN DE DURMIENTES EN EL MUNDO	18
1.5 USO Y APLICACIÓN DE DURMIENTES EN MÉXICO	20
2. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO	22
3. PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD APLICADAS AL PROCESO DE FABRICACIÓN DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO	24
4. CASO DE ESTUDIO, PROCESO DE FABRICACIÓN DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO PARA LA LÍNEA 12 DEL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO	30
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO LÍNEA 12 DEL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO	30
4.2 CRITERIOS GENERALES PARA LA FABRICACIÓN DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO	36
4.3 DIMENSIONAMIENTO DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO	37
4.4 PROCESO DE FABRICACIÓN.....	39
4.5 CONTROL DE CALIDAD	52
5. ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y MONTAJE DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO	56
6. CONCLUSIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXOS	63

INTRODUCCIÓN

Una obra de infraestructura, como lo es la construcción de la línea 12 del metro de la ciudad de México, requiere de una planeación minuciosa de cada una de las partes que conformaran el proyecto definitivo: cimentación, estructura propiamente dicha, ya sea subterráneo, superficial o elevada, estaciones, vías, etc.

Cada una por si sola juega un papel muy importante en ese complejo rompecabezas que constituye el proyecto en su conjunto.

En esta colosal obra de ingeniería hay una pequeña estructura, que no por ser pequeña importa menos; mide 2.40 m de longitud, su sección transversal no mayor a la de una hoja tamaño carta tiene nada menos que la función de recibir la carga que los rieles reciben de los trenes, para distribuirla a las traveses y estas finalmente transmitirlas a la cimentación. Me refiero a los durmientes, nombre que se le dio a esta estructura por su parecido a una fila de personas perfectamente alineadas que duermen en un salón o un campo abierto. Llamado también traviesa (en Latinoamérica), por ser una viga que atraviesa los rieles del tren.

Los durmientes son elementos de sección transversal rectangular o trapecial uniforme o variable a lo largo de estos, compuestos por un bloque de concreto, aptos para recibir los elementos de fijación del riel y constituir la parte del sistema de vías que asegure la implantación del riel, la transmisión uniforme de las cargas del material rodante al balasto, el alineamiento y la conservación del escantillón entre rieles a todo lo largo de la vía.

Estos durmientes pueden fabricarse mediante uno de los dos sistemas de presforzado, antes o después del fraguado del concreto, es decir pretensado o postensado; el área de apoyo será rugosa para mejorar la fricción entre el durmiente y el balasto.

Los durmientes se diferencian básicamente por el material con que se fabrican, siendo los más utilizados:

- Madera impregnada e impermeabilizada: Su ventaja radica en su precio, pues resulta ser el más barato. Sin embargo su vida útil es la más corta, además no es adecuado para vías de alta velocidad.
- Metal: Se utiliza cuando la vía está sometida a condiciones climáticas extremas y a cargas elevadas (como por ejemplo, fue usado en la construcción del ferrocarril trasandino chileno) su empleo casi ha desaparecido a favor del durmiente de concreto.

- Concreto: Es el material más adecuado para la fabricación de durmientes. Su longevidad hace que sea rentable su uso a pesar de su alto costo. Debido a su gran peso es adecuado para el empleo con carril soldado y por tanto para vías de alta velocidad. Otra ventaja es que a diferencia de la madera, el concreto no es combustible.

Existen dos tipos de durmientes de concreto, el monobloque y el bibloque.

El monoblock es una única barra de concreto, se usa principalmente en vías antiguas que son renovadas. (Figura N°1)

El tipo bibloque son como dos durmientes cortos unidos por una barra de acero, se utiliza preferentemente en vías nuevas. (Figura N°2)



Figura N° 1. En esta foto se puede apreciar la diferencia entre los dos tipos de durmientes de concreto una vez instalados en esta figura se muestra el durmiente monobloque de concreto.



Figura N° 2. En la imagen se muestra la estructura de los durmientes bibloque.

1. ANTECEDENTES

1.1 TIPOS DE DURMIENTES EN PROYECTOS FERROVIARIOS

Según las necesidades y especificaciones de un proyecto, atendiendo a las condiciones de clima, economía, la obtención de los recursos para su fabricación, etc. Los tipos de durmientes que pueden utilizarse son los siguientes:

Durmientes de madera

Existen distintos tipos de madera para la fabricación de durmientes las más utilizadas son de pino, haya, roble, y de quebracho en Sudamérica.

La madera usada en estos durmientes es generalmente de pino, por su menor densidad tienen menor peso y por tanto son más manejables, y las medidas más habituales son 12 por 20 centímetros de sección y longitudes de 120, 180 y 250 centímetros.

La calidad procedente de madera de roble en la mayor parte de los ferrocarriles europeos; el tratamiento de conservación efectuado, así como el buen estado de

conservación, en muchos casos mantenían casi perfecta su forma, estructura y cualidades físicas.

En México, usamos dura tropical (chicozapote, mora quebracho, tepeguaje, Jabín, etc.) blandas maderas de pino resinoso ponderoso, pino, ocote y ciprés y maderas semiduras de encino, laurel, etc.

Durmientes de concreto

Con la paulatina sustitución de los tradicionales durmientes de madera por durmientes de concreto a partir de los años 50 descendió la producción de durmientes de madera para nuevas instalaciones ferroviarias. En la actualidad en toda la comunidad europea la normatividad exige el montaje de durmientes de concreto. De igual forma en la renovación de las infraestructuras ya existentes se procede a retirar los durmientes de madera instalados. Más recientemente se hizo la clasificación de durmientes de concreto en monobloque, bibloque o mixtos. Estos últimos son de concreto y acero.

1.2 CLASIFICACIÓN DE DURMIENTES

Considerando que el concreto posee propiedades que lo hacen un material conveniente para la elaboración de durmientes, como son: resistente al fuego, casi inalterable bajo cualquier condición atmosférica, durable y capaz de tomar cualquier forma que quiera dársele, además, tomando en cuenta el hecho de que el concreto presenta una resistencia muy baja a la tensión, se han fabricado y ensayado distintos tipos de durmientes de concreto. Figura N° 3. Para su estudio los agruparemos de la siguiente manera: durmientes monolíticos tipo viga, durmientes de dos bloques (bibloque), durmientes longitudinales tipo placa y durmientes tipo placa (transversales).

- a) El durmiente monolítico tipo viga presenta tres variantes, 1) viga prismática continua en toda su longitud que necesita un surco en el balasto, para no aumentar excesivamente la reacción del subsuelo y con ello el momento negativo. Esto no es fácil de lograr y se ha recurrido al artificio de hacer la viga en forma de puente, lo que da como resultado la variante 2). La variante 3) Presenta una reducción en el centro del durmiente, en su espesor, se le llama durmiente elástico. Estos dos últimos tipos tienen el gran inconveniente de que obligan a llevar el refuerzo en una determinada posición central de la sección transversal, y con ello se aumenta la excentricidad del esfuerzo, y, por

consiguiente, el reparto de los efectos del tensado resulta defectuoso. Figura N° 3 a.

- b) Los durmientes de dos bloques de concreto armado, unidos éstos por un perfil de acero (bibloque), tienen la ventaja de estar prácticamente libres de reacción del apoyo en la parte central, pero tienen el gran inconveniente de poseer una muy baja resistencia al choque de una rueda descarrilada. Figura N° 3 b.

Como una variante de este tipo de durmientes, existe un durmiente articulado, fabricado en Bélgica, denominado Franki-Bagon, el cual está constituido por tres piezas: dos bloques de concreto simplemente armado, en los extremos y una pieza de concreto simple en el centro; Las tres piezas se unen por medio de una varilla a la cual se le aplica tensión en los extremos. Entre los bloques extremos y el central se colocan unos insertos elásticos que le dan flexibilidad al elemento. Experimentalmente se ha observado que su desventaja es la debilidad, debida a su misma estructuración.

- c) Los durmientes longitudinales tipo placa, están compuestos, como su nombre lo indica, por una loseta rectangular colocada longitudinalmente a la vía. Estos durmientes presentan el inconveniente de requerir vigas transversales de contraventeo para mantener el escantillón, con la consecuente dificultad que ocasiona un elemento más de sección. Además, los contraventeos tienen también el problema de ofrecer una resistencia casi nula a los impactos por descarrilamiento. Figura N° 3 c.

- d) Los durmientes transversales tipo placa son semejantes a los anteriores, con la diferencia de que las placas se colocan transversalmente a la vía. Desde el punto de vista económico, resultan casi inaceptables, ya que prácticamente se cubre toda la vía. Debido a su gran área de apoyo, poseen un gran rozamiento con este, siendo necesario emplear una cama de arena, cosa que resulta muy costosa. Como ventaja, presentan una gran eficiencia ante los descarrilamientos, al encontrar la rueda descarrilada una superficie casi lisa que le permite seguir rodando sin producir efectos dinámicos excesivos. Figura N° 3 d.

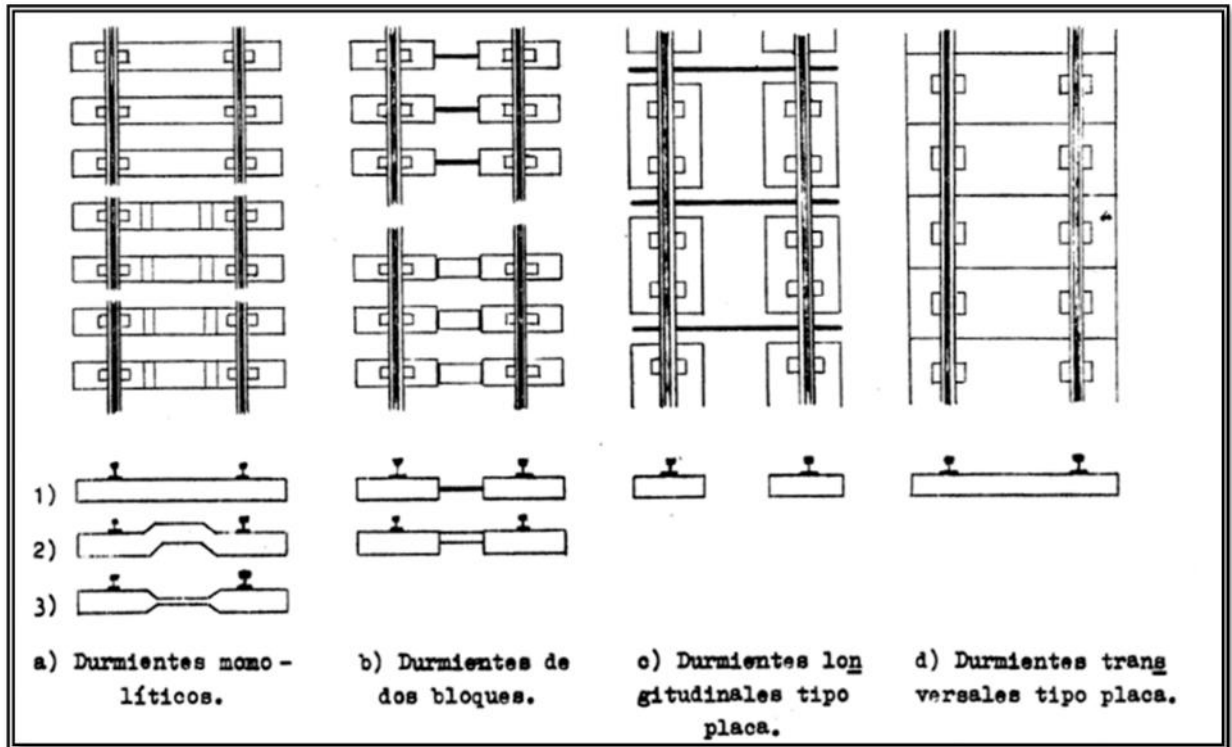


Figura N° 3. Distintas alternativas de durmientes.

1.3 CRITERIOS DE DISEÑO APLICADOS A DURMIENTES

El diseño es uno de los más complicados que se presentan al proyectista estructural, tanto por la complejidad del análisis como por la necesidad de optimizar el consumo de materiales y la sencillez de fabricación, teniendo en cuenta las numerosas repeticiones involucradas.

Se trata en realidad de un diseño industrial. El problema estructural consiste en diseñar una viga sobre apoyos elásticos que recibe cargas dinámicas del sistema de la vía, el cual también es una viga sobre apoyos elásticos.

Esta situación crea una envolvente de momentos que genera tensiones por flexión arriba y abajo del durmiente, en el asiento del riel y en el centro del durmiente, lo cual requiere secciones longitudinales y transversales variables con excentricidades distintas a su vez en cada sección de la resultante de la fuerza pretensora. Además, si el anclaje del acero pretensor es por adherencia, la fuerza pretensora cambia a lo largo del eje del durmiente.

El manual A.R.E.M.A (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association), en su apartado 10.1.4 relativo a la resistencia a la flexión del durmiente de concreto presforzado; nos presenta un método para el cálculo de los momentos que actúan sobre el durmiente y para los cuales deberán ser diseñados. Este método toma en consideración la velocidad de tránsito de los carros, la capacidad de tonelaje anual, y por último la distancia de separación entre durmientes.

Proyecto estructural

Para realizar el proyecto de un nuevo durmiente, es necesario llevar a cabo una serie de análisis que en algunas ocasiones llega a ser hasta cierto punto complicados, pero que son necesarios para la obtención de un producto económico y funcional.

Factores que influyen en el diseño y el uso de durmientes de concreto

Las fuerzas que surgen de los ejes del tren en movimiento soportadas por ruedas de acero que corren sobre rieles, pueden ser calculadas; por lo tanto, también se pueden obtener los valores indicativos de las cargas verticales aplicadas sobre los durmientes (ver Anexo 3).

Mediciones realizadas por la British Railways en una vía con irregularidades superiores a las previstas, confirmaron los valores que aparecen en la tabla 1.

TABLA 1. CARGAS CALCULADAS				
Vehículo	Velocidad Km/h	Carga estática de la rueda (toneladas)	Carga de la rueda sin muelles (toneladas)	Carga máxima vertical por rueda (toneladas)
Locomotora Deltic	160	8.8	1.65	34
Tren de alta velocidad (HST)	200	8.3	1.25	33
Tren rápido de pasajeros (APT)	250	8.5	0.75	34
Carro tanque (100 ton brutas)	100	12.5	--	25
Vagón de carga (80 ton brutas)	120	10.0	--	23

La forma de los durmientes utilizados ha variado muy poco desde 1955; en cambio, gracias a la experiencia adquirida, se ha podido reducir gradualmente el espaciamiento y la resistencia a la flexión.

El durmiente original para riel de patín plano, introducido en 1953, fue diseñado para distribuir una carga de 35 toneladas en el apoyo del riel, con un espaciamiento de 75 cm. Después de una experiencia de 7 años este valor se redujo a 28 toneladas. También se logró una reducción en la longitud del durmiente, de 2.59 m a 2.52 m y, finalmente, se redujo la reacción en el apoyo del riel a 24 toneladas y el espaciamiento a 70 cm.

La reacción finalmente considerada en el apoyo del riel, es más que adecuada para equilibrar las fuerzas verticales máximas que se espera ejerza cada rueda de los vehículos de uso corriente con cierta tolerancia en la distribución de fuerzas en los rieles. En el año de 1964 se evaluaron las consideraciones principales referentes al diseño y al uso de durmientes de concreto, al tiempo que A.N. Butlan, Ingeniero Civil, entonces jefe de British Railways, formuló la política básica para la construcción y el mantenimiento de vías férreas la cual ha sido continuada por sus sucesores.

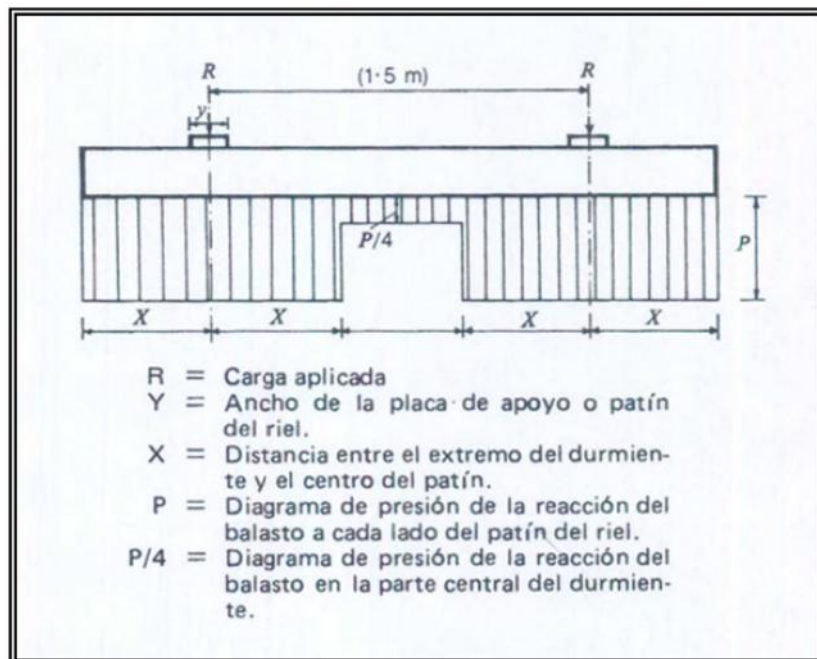


Figura N° 4. Distribución supuesta de la presión bajo los durmientes utilizada para calcular los momentos flexionantes positivos en el apoyo del riel.

Puesto que el asentamiento en las vías es inevitable, los durmientes de una pieza de concreto presforzado sobre un balasto apropiado, con rieles de soldadura continua, resultan el mejor y más económico soporte para trenes de alta velocidad y para trenes que transmiten cargas axiales muy elevadas.

Los durmientes de concreto presforzado tienen la resistencia necesaria para evitar la ruptura, y el peso adecuado para oponerse a vuelcos o inclinaciones de la vía. En algunas vías rectas se ha probado un marco de concreto presforzado en dos direcciones, que se coloca sobre una base de concreto o asfalto. Sin embargo, estas unidades requieren nivelación y lechada lo que aumenta el tiempo requerido para su colocación y, por tanto, los costos; además existen los problemas latentes de las juntas y los posibles pandeos horizontales y verticales.

Resumiendo los criterios de diseño utilizados para diseñar una viga sobre apoyos elásticos pueden ser:

a) Por resistencia

Para poder tratar adecuadamente el problema de la seguridad, es necesario plantear el diseño en términos que permitan identificar claramente contra que se pretende tener seguridad, dónde se debe aplicar factores de seguridad y que efectos estos pretenden cubrir. El planteamiento de *estados límite* es el indicado en este contexto ya que permite comparar la resistencia para cada estado límite contra la acción correspondiente. La forma más lógica de operar sería a través de un solo factor de seguridad que relacionada la mejor estimación posible de la resistencia representada por la media o valor esperado de esta, m_R , con la mejor estimación que puede hacerse de la acción, m_S . Habría que diseñar para que esta relación representara el factor de seguridad óptimo en el sentido expresado anteriormente

$$FS = \frac{m_R}{m_S} \quad \text{---(1)}$$

Esta forma de proceder presenta diversos inconvenientes prácticos. El más importante es que en cada caso particular la magnitud de las incertidumbres que existen en las diversas variables y aspectos del diseño es muy diversa y que el factor de seguridad debería tomar muy distintos valores según las condiciones particulares. El reglamento debería prever gran número de alternativas y permitir al proyectista determinar el factor de seguridad con base en estimaciones subjetivas de la importancia de algunos factores y de las magnitudes de las incertidumbres.

Para mayor sencillez de presentación y para definir en forma más rígida los factores de seguridad en los reglamentos se prefiere tomar en cuenta las incertidumbres en las variables dónde están aparecen, por medio de factores de seguridad parciales, en lugar

de acumularlos hasta determinar un solo factor de seguridad final. Esta segunda forma de proceder da lugar a falta de uniformidad en los niveles de seguridad, ya que la acumulación de factores parciales no conduce con precisión al factor de seguridad global que se pretende obtener.

Así, la incertidumbre en la resistencia se considera tomando valores conservadores de las variables que determinan el valor de está, principalmente de los esfuerzos resistentes de los materiales, y de los coeficientes que intervienen en las expresiones de cálculo, cuando estas son empíricas.

Por otra parte, la incertidumbre en la acción se toma en cuenta especificando valores conservadores para las distintas cargas y aplicando a las fuerzas determinadas para dichas acciones, factores de carga que dependen de la probabilidad de que se exceda el valor conjunto de las distintas acciones que intervienen en la combinación en estudio.

Los reglamentos pueden resolver de diversas maneras el problema de la revisión de la seguridad. El planteamiento de estados límite antes presentado conduce en forma directa a lo que se llama un **criterio de diseño por resistencia** en el cual, en términos generales, la revisión consiste en comprobar que se cumpla la desigualdad siguiente:

$$F_R R_d > \sum F_C S_d \text{ --- (2)}$$

o sea que la resistencia, R_d , calculada con los valores nominales de los esfuerzos resistentes de los materiales y con expresiones que son generalmente conservadoras, se multiplica por un factor de reducción de resistencia, F_R , que pretende tomar en cuenta algunos factores adicionales como el modo de falla involucrado en el estado límite en cuestión (y si dúctil y frágil). En el otro lado de la desigualdad, los efectos de las acciones de diseño, o sea, las fuerzas internas S_d , obtenidas del análisis de la estructura ante cada una de las acciones de diseño se multiplican cada una, por factores que toman en cuenta la probabilidad de que se exceda al efecto del conjunto de acciones que intervienen en la combinación de cargas que se está considerando. De esa manera se tiene un juego de factores de seguridad que da lugar a niveles de seguridad razonablemente uniformes.

b) Por esfuerzos admisibles

Un planteamiento más burdo del problema de revisión es posible cuando se puede expresar la resistencia como una función lineal de cierto esfuerzo resistente del material.

$$R_d = K f_d \text{ --- --- --- --- --- (3)}$$

En que K es un coeficiente que depende en general de diversas propiedades geométricas de la sección. Si además los efectos de las acciones se expresan en términos de un esfuerzo actuante en la sección, al dividir la fuerza interna actuante en la sección entre el mismo factor K se tiene:

$$f_a = \frac{S_d}{K} \text{ --- --- --- --- --- (4)}$$

y si se considera un solo factor de carga F_C igual para todas las acciones se puede establecer una desigualdad análoga a la ecuación (2), que expresada en términos de esfuerzos, sería:

$$\frac{F_R R_d}{K} > F_C \sum \left(\frac{S_d}{K} \right)$$

De donde

$$\left(\frac{F_R}{F_C} \right) f_d > f_a$$

El término $(F_R / F_C) f_d$ se denomina *esfuerzo admisible* o *permisible*, y en él se han concentrado todos los factores parciales de seguridad, y el cual se escribe como:

$$f_p = \left(\frac{F_R}{F_C} \right) f_d$$

de esa manera se obtiene un criterio diferente de revisión de la seguridad que consiste en la comparación de un esfuerzo actuante como uno permisible, en donde:

$$f_p > f_a$$

este criterio de diseño es el que se ha usado tradicionalmente para la mayoría de los materiales, ligado a la suposición de que estos tienen un comportamiento elástico lineal, de modo que los esfuerzos actuantes se determinaban con una teoría elástica y los permisibles se fijaban de manera que el comportamiento del material fuera claramente lineal para esfuerzos menores que ellos. En los reglamentos actuales sin embargo, este criterio no está necesariamente ligado a una teoría elástica y es una simple transformación de un criterio de resistencia a una presentación diferente.

Para cada uno de estos criterios considerados y respecto a las necesidades del proyecto se deben regir por las solicitaciones de cargas verticales, cargas horizontales transversales y longitudinales así como cargas en durmientes de concreto monobloque presforzado mostradas en la normatividad de cada zona donde se pretenda esgrimir el durmiente así como los manuales de diseño correspondientes en este caso se baso en el manual AREMA.

1.4 USO Y APLICACIÓN DE DURMIENTES EN EL MUNDO

Existen diversas causas que han influido para uso del concreto en la fabricación de durmientes.

Entre las principales podemos citar las siguientes:

- El temor de que el aprovechamiento de durmientes de madera fuera insuficiente.
- La necesidad de conseguir un durmiente más durable y más resistente que los durmientes de madera y que permitiera diseñar una vía moderna que sustituyera ventajosamente la vía clásica.

Se sabe que durante el periodo de 1880 a 1914 se realizaron los primeros proyectos, que en algunos casos se completaron con ensayos prácticos.

Como consecuencia de la dificultad para conseguir madera así como el impacto ambiental y con motivo del notable avance tecnológico del concreto, durante la primera guerra mundial se intensifico el estudio metódico del problema culmino con el establecimiento de las primeras fábricas productoras de durmientes de concreto de 1920 a 1940.

Durante este periodo, se fabricaron durmientes monolíticos de concreto con características geométricas similares a los de madera y también durmientes mixtos, formados por dos bloques de concreto armado unidos entre sí por una barra metálica que mantiene el escantillón de la vía.

Al primer tipo pertenece el durmiente “Orión” estudiado por M. Lefranc, de los cuales en el periodo de 1928 a 1933 se colocaron alrededor de 200,000 unidades en varias líneas. Ejemplo del segundo caso es el durmiente “Vagneux” utilizado en la línea de Paris a Clemont-Ferrand y en varias vías férreas de África del norte, Indochina, Suiza, Bélgica e Italia.

Durante la segunda guerra mundial se perfecciono la tecnología de fabricación de durmientes de concreto, surgiendo diversos sistemas y tipos que resistían correctamente la sollicitación de esfuerzos a que estaban sometidos en las vías en servicio. Debido a la escases de madera y al impacto ambiental que este ocasionaba el durmiente de madera, el durmiente de concreto recibió el impulso definitivo lo que propicio la aparición del durmiente de concreto presforzado.

A partir de esto, la fabricación de durmientes de concreto logro su objetivo vinculando las características de resistencia, flexibilidad y durabilidad requeridas en cada uno de los tres modelos que a continuación se describen:

- a) Durmiente monolítico de concreto presforzado que cosiste en una viga de concreto cuyo presfuerzo está asegurado por un cierto número de cables que transmiten sus esfuerzos por adherencia o por tensión, apoyándose en anclajes en los extremos del durmiente.
- b) Durmiente de concreto presforzado no monolítico, formado por dos bloques y un travesaño con dos juntas elásticas ligados entre sí con acero de presfuerzo.
- c) Durmiente mixto o bibloque, en el cual la elasticidad se consigue uniendo dos bloques extremos de concreto armado mediante un perfil de acero que funciona como elemento flexible y asegura el escantillón de la vía.

Como se ha expuesto anteriormente durante muchos años se han utilizado ampliamente en Europa los durmientes para ferrocarril de concreto presforzado, mientras tanto en los EE.UU.A., se ha limitado su aplicación a algunas líneas importantes, vías industriales y secciones de pruebas. Las líneas de transito rápido han abierto una nueva oportunidad y se están usando durmientes de concreto presforzado en San Francisco, Chicago y Boston.

Los durmientes de concreto presforzado son uno de los conceptos individuales más pequeños que se fabrican; sin embargo, se usan en grandes cantidades y bajo condiciones extremadamente severas, por lo que merecen una atención muy especial en el desarrollo diseño y fabricación.

A partir de 1950, cuando la industria del durmiente de concreto en Europa había desplazado al durmiente de madera, en la República Mexicana surgió la inquietud de adoptar esta técnica, con el fin de preservar nuestra riqueza forestal, procurando una mejor utilización de la madera y satisfaciendo al mismo tiempo la demanda cada vez creciente de durmientes, para la conservación o rehabilitación de vías férreas en servicio y la construcción de nuevas líneas.

1.5 USO Y APLICACIÓN DE DURMIENTES EN MÉXICO

En el año de 1926 en México el Ing. José A. Martínez Ugalde, ideó y construyó un durmiente de concreto armado que fue utilizado en las vías del patio de Puebla.

Hubo un gran número de durmientes de concreto diseñados en otros muchos países y todas esas experiencias confirmaron lo difícil que resultaba fabricar un durmiente de concreto armado que conservara sin sufrir daños frente a los fuertes esfuerzos e impactos que produce la circulación de los trenes cada día más pesados y veloces.

A partir de 1959, la entonces Secretaria de Obras Públicas inició los estudios preliminares tendientes a establecer una fábrica en nuestro país. En noviembre del mismo año en la XII Junta Regional del Instituto Americano del Concreto, celebrada en la ciudad de México el Ingeniero Alberto Dovalí Jaime, presentó una documentada ponencia en la que señalaba la necesidad de iniciar la producción de durmientes de concreto a la brevedad posible, ya que en 1960 se necesitarían seis millones para conservar, rehabilitar y construir nuevas líneas.

Como consecuencia, en Ciudad Acuña, Coahuila, en febrero de 1960, se procedió a la instalación de la primera planta para la fabricación de durmientes mixtos del tipo RS, la cual inició su producción el mes de marzo del mismo año para satisfacer las necesidades de la línea experimental en construcción, que une a San Carlos y Ciudad Acuña en el estado de Coahuila. Posteriormente, con base en los primeros resultados del empleo de este tipo de durmiente, la Secretaria de Obras Públicas y los Ferrocarriles Nacionales de México decidieron utilizarlo en la construcción y rehabilitación de los tramos Chihuahua - Topolobampo, Chihuahua - Ojinaga, Monterrey - Matamoros y unión del Ferrocarril Tehuano con el sureste.

En 1964, se inició la fabricación del durmiente mixto tipo SL, en Dolores Hidalgo Guanajuato para emplearlos en la línea nueva Viborillas - Villa de Reyes, con una longitud de 173 km. y en 1967 en Panzacola, Tlaxcala, se empezó a fabricar el durmiente de concreto monolítico postensado modelo B-58 teniendo ambas fabricas la meta de satisfacer las necesidades de rehabilitación de vías.

A la fecha, se encuentran en operación las plantas de durmientes: "Dywidag" de Panzacola, Tlaxcala y la instalada en Monterrey Nuevo León; ambas han surtido durmientes a los tramos Encantada - Saltillo, Gómez Farías - Agua Nueva, Irapuato - Ocotlán, Matrimonio - El Oro, México - Huehuetoca, México - Teotihuacán, Tierra Blanca - tres Valles y Monterrey - Nuevo Laredo.

Actualmente los más de 26,000 km de red ferroviaria nacional tocan la mayor parte de las regiones de importancia económica de México, uniendo al país al norte con la frontera de los Estados Unidos, al sur con la frontera de Guatemala, y de este a oeste al Golfo de México con el Pacífico. Esto ha sido el resultado de un largo proceso de

construcción ferroviaria, basado en una gran diversidad de concesiones y formas jurídicas de propiedad y con tendido de líneas con características técnicas variadas.

La primera línea ferroviaria en México fue la del Ferrocarril Mexicano, de capital inglés, de la Ciudad de México a Veracruz, vía Orizaba y con un ramal de Apizaco a Puebla. Fue inaugurada, en toda su extensión, por el presidente Sebastián Lerdo de Tejada, en enero de 1873. Al finalizar 1876, la longitud de las líneas férreas llegaba a 679.8 km.

Durante el primer período de gobierno del presidente Porfirio Díaz (1876-1880) se promueve la construcción ferroviaria por medio de concesiones a los gobiernos de los estados y a particulares mexicanos, además de las administradas en forma directa por el Estado. Bajo concesión a los gobiernos de los estados se construyeron las líneas de Celaya – León, Omestuco – Tulancingo, Zacatecas – Guadalupe, Alvarado – Veracruz, Puebla – Izúcar de Matamoros y Mérida – Peto.

Bajo concesión a particulares mexicanos destacan las líneas del Ferrocarril de Hidalgo y las líneas de Yucatán. Por administración directa del Estado, el Ferrocarril Nacional Esperanza-Tehuacán, el Ferrocarril Nacional Puebla-San Sebastián Texmelucan y el Ferrocarril Nacional de Tehuantepec. Más tarde, la mayoría de estas líneas formarían parte de los grandes ferrocarriles de capital extranjero, o se unirían a los Ferrocarriles Nacionales de México en un período posterior.

En todas estas líneas se utilizaron durmientes de madera, para después por razones ya mencionadas remplazar por durmientes de concreto dando paso al transporte público de alta tecnología como lo es el tren metropolitano.

A partir del decreto de la creación del Sistema de Transporte Colectivo en el año de 1967, todo estaba planeado para llevar a cabo una gran obra que transformaría definitivamente la ciudad: la construcción de las primeras tres líneas y sus estaciones; los trenes del metro que construiría una compañía francesa con la tecnología más avanzada; la capacitación de personal técnico y profesional para operar los trenes y los puestos centrales de tráfico, además de los talleres de mantenimiento, la venta de boletos y la organización administrativa.

Así también a través de PRET, una de las empresas que conforman la subsidiaria ICA Construcción Urbana, la constructora comandada por El Ing. Bernardo Quintana, suministra desde una planta móvil en Tláhuac, D.F., 330 piezas prefabricadas entre columnas, trabes, dovelas, pilotes y durmientes para la edificación de la línea 12 del Metro de la ciudad de México.

En otra planta ubicada en Indios Verdes, al norte de la ciudad de México, se prefabrican los 40 mil durmientes de concreto que se utilizarán en los 25.1 kilómetros que tendrá de largo la nueva línea del Metro.

Dando lugar al auge del empleo de durmientes monobloque de concreto presforzado.

2. PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO

La fabricación de elementos prefabricados de concreto normalmente se lleva a cabo en plantas fijas de producción, las cuales cuentan con el equipo y personal especializado para elaborar, bajo estrictas normas de calidad, diferentes productos solicitados por la industria de la construcción. También se pueden prefabricar elementos a pie de obra, que por su peso, tamaño o condiciones propias de la obra requieren que sean fabricados en sitio.

La fabricación de durmientes es un sector muy especializado en la prefabricación de elementos en concreto, caracterizado por:

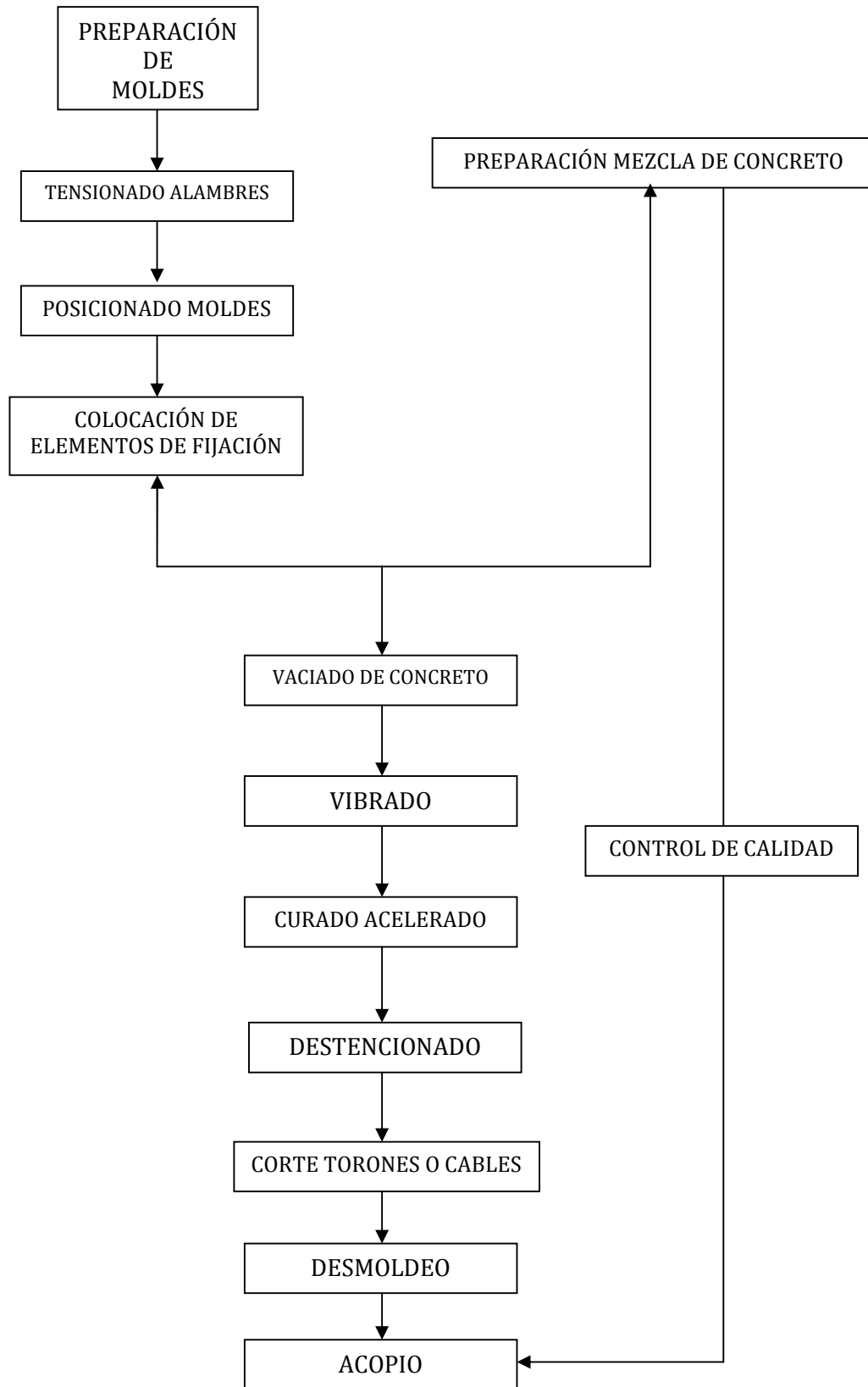
a) Gran exigencia en la precisión de durmientes (tolerancias de ± 3 mm en las dimensiones mayores);

b) Concretos con altas resistencias mecánicas: resistencia a compresión: 490 Kg/cm² a 28 días sobre cilindros. 340 Kg/cm² en el momento de tensionar el refuerzo o transmitir fuerza de presfuerzo al concreto. Resistencia a tracción: 52 Kg/cm² evaluado mediante el módulo de ruptura.

c) Concretos de alta ductibilidad y alta resistencia a la fatiga mecánica. Los sistemas de producción se agrupan en tres tipos:

- 1) Línea larga para durmientes pretensionados: en el cual un número determinado de formaletas se colocan en forma continua de tal manera que el refuerzo para ser pretensionado es común a todos los moldes y se tensiona entre los extremos de toda la serie de formaletas.
- 2) Sistema de formaleta individual para durmientes pretensionados, similar al anterior pero el tensionado se liga elemento por elemento y éstos se dejan en las formaletas hasta completar su proceso de curado y poder recibir la fuerza que les transfieren los aceros de pre-esfuerzo.
- 3) Sistema de desmoldeo instantáneo para durmientes postensionados, en el cual los durmientes sólo permanecen en sus moldes unos tres minutos y desarrollan su curado fuera de las formaletas. 1% los diagramas siguientes se esquematizaban los procesos de producción para durmientes pretensionados y pos-tensionados.

ESQUEMA DE FABRICACIÓN DE DURMIENTES PRETENSADOS



3. PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD APLICADAS AL PROCESO DE FABRICACIÓN DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO

✓ VERIFICACIÓN DEL ASPECTO EXTERIOR Y CONTROL GEOMÉTRICO.

-ASPECTO EXTERIOR.

Las superficies exteriores deberán ser las producidas por el molde, deberán ser regulares en su forma y en su constitución; estarán limpias y libres de cualquier hueco, fisura, rotura o hendidura.

- Ningún acero de presfuerzo o de refuerzo interior deberá ser visible.
- Ningún tipo de reparación se admitirá en los durmientes.
- La cara del durmiente que estará en contacto con el balasto, deberá ser rugosa.

-CONTROL GEOMÉTRICO.

El control geométrico se realizará en un numero de durmientes que será fijado por el recepcionista de PMDF (Proyecto Metro del Distrito Federal), pero este control podrá extenderse a todos los durmientes.

Previamente a la fabricación de los durmientes, el proveedor someterá a la aprobación del representante de PMDF, dos series de escantillones para las verificaciones dimensionales.

Los escantillones se marcarán después de su aprobación y una serie quedará a la disposición del proveedor quien la empleará para el control de los durmientes en su proceso de fabricación. La segunda serie será empleada por los representantes de PMDF y se utilizarán en las recepciones únicamente los escantillones marcados por PMDF o su representante.

Estos escantillones serán verificados y en su caso reemplazados toda vez que el representante de PMDF lo juzgue necesario. Las tolerancias a respetar en las dimensiones de los durmientes han sido precisadas en las dimensiones límites de la especificación funcional.

✓ CONTROL DE LA CALIDAD DEL CONCRETO.

La calidad del concreto se controlará mediante pruebas de edades de 7, 14 y 28 días en las probetas testigo elaboradas durante el colado diario de los durmientes.

Si la resistencia promedio a la compresión, obtenida a 14 días en 2 probetas correspondientes al mismo lote para concretos postensados es inferior a 490 kg/cm²

y la resistencia promedio a la compresión obtenida a los 28 días en 2 probetas correspondientes a un mismo lote, es inferior a 294 kg/cm², entonces dicho lote de durmientes será rechazado. (Ver notas 2 y 3 al final).

En su caso, el rechazo de un lote solo podrá ser definido después de realizar las pruebas de carga directa en los durmientes de ese lote y solo si estas no son satisfactorias.

Un lote indica aquí el conjunto de durmientes colados en una misma jornada y para los cuales se elaboraron los cilindros de prueba.

-PRUEBAS.

Las pruebas se efectuarán a menos de 7 días si fue curado con vapor, y a no menos de 14 días si el curado fue normal el proceso de fabricación; excepto las pruebas que expresamente indiquen otros periodos de ejecución de las pruebas descritas a continuación.

✓ PRUEBA DE MOMENTO FLEXIONANTE POSITIVO SOBRE EL ASIENTO DEL RIEL.

Se ejecutará en cada No. del riel, con el durmiente apoyado y cargado como se muestra en la figura 1 del anexo No. 3, una carga aumentando a un promedio no mayor de 2.27 toneladas por minuto, se aplicará hasta que la carga (P) de 21.42 toneladas produzca un momento positivo en el asiento del riel de 253.5 toneladas – centímetro. Esta carga se mantendrá por no menos de 3 minutos, durante los cuales se hará una inspección para determinar si ocurre agrietamiento estructural, después de este tiempo se descargará la prensa de prueba.

Una lupa de 10 aumentos, podrá usarse para localizar grietas. Si no se presenta ninguna grieta o fisura, los requisitos de esta prueba se habrán cumplido, esta inspección se realizara durante los tres minutos que se mantendrá la carga de 21.42 toneladas.

✓ PRUEBA DEL MOMENTO FLEXIONANTE NEGATIVO SOBRE EL ASIENTO DEL RIEL.

Se efectuará en cada asiento del riel con el durmiente apoyado y cargado como se muestra en la figura 2 del anexo No. 3, una carga aumentando a un promedio no mayor de 2.27 toneladas por minuto, se aplicará hasta que la carga (P) de 12.17 toneladas, produzca un momento negativo en el asiento del riel de 132.5 toneladas – centímetro. Esta carga se mantendrá por no menos de 3 minutos, durante los cuales se hará una inspección para determinar si ocurre agrietamiento estructural, después de este tiempo se descargará la prensa de prueba.

Una lupa de 10 aumentos, podrá usarse para localizar grietas. Si no se presenta ninguna grieta o fisura, los requisitos de esta prueba se habrán cumplido, (esta prueba se realizara durante los 3 minutos que se mantendrá la carga de 12.17 toneladas).

✓ PRUEBA DE MOMENTO FLEXIONANTE POSITIVO AL CENTRO DEL DURMIENTE.

Con el durmiente apoyado y cargado como se muestra en la figura 3 del anexo No. 3, una carga aumentando a un promedio no mayor de 2.27 toneladas por minuto se aplicará hasta que una carga de 2.95 toneladas, produzca un momento de 103.7 toneladas – centímetro. Esta carga se mantendrá por no menos de 3 minutos, durante los cuales se hará una inspección para determinar si ocurre agrietamiento, después de este tiempo se descargará la prensa de prueba. Si no ocurre agrietamiento estructural de esta prueba se habrán cumplido.

✓ PRUEBA DE MOMENTO FLEXIONANTE NEGATIVO AL CENTRO DEL DURMIENTE.

Con el durmiente apoyado y cargado como se muestra en la figura 4 del anexo No. 3, se aplicará una carga aumentando a un promedio no mayor de 2.27 toneladas por minuto hasta que una carga de 7.42 toneladas, produzca un momento negativo de 253.5 toneladas – centímetro. En los durmientes con ancho constante en la superficie de apoyo esta carga se mantendrá por no menos de 3 minutos. Durante los cuales se hará una inspección para determinar si ocurre agrietamiento estructural. Después de este tiempo se descargará la prensa de prueba. Si no ocurre agrietamiento estructural los requisitos de esta prueba se habrán cumplido.

Para el caso de durmientes con ancho variable en la superficie de apoyo con reducción hacia el centro, se aplicará una disminución del 10% en el momento negativo; por lo que el valor de la carga será de 6.68 toneladas para que produzca un momento negativo de 228.15 toneladas – centímetro.

✓ PRUEBA DE CARGA REPETIDA SOBRE EL ASIENTO DEL RIEL.

Esta prueba se realizará conforme a lo indicado en el inciso 4.9.1.5 del capítulo 30 del manual “AREMA” (última edición).

El valor de la carga “P” será de 21.42 toneladas, por lo tanto $1.1 P = 23.56$ toneladas.

✓ PRUEBA DE CARGA ÚLTIMA EN EL ASIENTO DEL RIEL.

Con el durmiente apoyado y cargado como se muestra en la figura 1 del anexo No. 3, se aplica una carga aumentando a un promedio no mayor de 2.27 toneladas por minuto, se aplicará hasta que una carga total de 1.5 P se obtenga (la carga “P” es la definida en la prueba de momento flexionante positivo sobre el asiento del riel). Si el durmiente es pretensado, el corrimiento medido en los alambre o torones exteriores

al cabo de 5 minutos de aplicación de la carga, no deberá ser mayor de 0.03 mm para pasar esta prueba.

En ambos casos si el durmiente es postensado y puede soportar esta carga de 1.5 P durante 5 minutos el durmiente habrá satisfecho la prueba.

✓ PRUEBA DE CARGA DESTRUCTIVA EN EL ASIENTO DEL RIEL.

Para el caso de la prueba de carga destructiva, la carga se continuará incrementando hasta que ocurra la falla total del durmiente, registrándose la lectura de la carga máxima. (Consultar Anexo No. 6.)

✓ PRUEBA DE TRACCIÓN PARA FUNDA AISLANTE GS CON GUARNICIÓN HELICOIDAL.

Las fundas aislantes GS deberán ser sometidas a una prueba de tracción de la siguiente manera:

La prueba será realizado en cada funda aislante GS, como se muestra en la figura 5 del anexo No. 3 y una carga axial de 53.4 kN se aplicará a cada una por separado que se mantendrá durante no menos de 3 minutos, tiempo durante el cual, será inspeccionado y no debe presentarse ninguna desviación de la inserción de la funda aislante GS o cualquier agrietamiento en el concreto

NOTA: Las grietas de mortero en las proximidades de la inserción no son una causa para el rechazo. Si se producen errores, entonces los requisitos de esta prueba no se han cumplido. La incapacidad del propio inserto de cada funda aislante de resistir a los 53.4 kN de carga sin deformación permanente constituirá también una falta de esta prueba.

✓ PRUEBA DE RESISTENCIA ELÉCTRICA.

En un durmiente de prueba se colocarán dos trozos cortos de riel, los cuales se sujetarán al durmiente con todos los elementos de sujeción previstos para la implantación de la vía, formando un sistema con aisladores y sujetadores en forma apropiada como se muestra en la figura 6 del anexo No. 3.

El montaje antes citado deberá sumergirse en agua por un mínimo de 6 horas al sacarse del agua se deja transcurrir una hora, para después aplicar un voltaje de C.A. de 10 volt a una frecuencia de 60 hertz a través de los 2 rieles por un período de 15 minutos. Los puntos de contacto entre los rieles deberán estar limpios, libres de oxidaciones o incrustaciones. La medición de la corriente se realizará con un amperímetro de C. A. y se expresará en amperes. La impedancia se determinará dividiendo el voltaje (10 volt) aplicado entre la corriente en amperes registrada en el amperímetro.

Si la impedancia en el medidor resulta mayor de 20,000 Ω , el durmiente habrá pasado la prueba.

✓ PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD EN PROTOTIPO.

Para cada serie de pruebas realizadas en un durmiente se deberán cambiar los apoyos de neopreno, y para su aprobación deberán realizarse las siguientes pruebas.

- Verificación geométrica, la verificación geométrica se efectuará en 3 durmientes de acuerdo con lo indicado en el control geométrico de la especificación funcional.
- Verificación del aspecto exterior, la verificación se realizará en todos los durmientes.
- Pruebas de momentos flexionante sobre los asientos de rieles al derecho y al revés, se realizarán en un durmiente de acuerdo con lo indicado en la prueba de momento flexionante positivo sobre el asiento del riel y la prueba del momento flexionante negativo sobre el asiento del riel de la especificación funcional.
- Pruebas de momento flexionante al centro del durmiente en posición al derecho y al revés, se realizarán en un durmiente de acuerdo con lo indicado en la prueba de momento flexionante positivo al centro del durmiente y prueba de momento flexionante negativo al centro del durmiente de la especificación funcional.
- Prueba de carga repetida sobre el asiento del riel, se realizará en un durmiente de acuerdo a lo indicado en la prueba de carga repetida sobre el asiento del riel de la especificación funcional.
- Prueba de carga última en el asiento de riel, se realizará en un durmiente ya aprobado en la prueba de momento flexionante positivo sobre el asiento del riel y de acuerdo con lo indicado en prueba de carga última en el asiento del riel de la especificación funcional.
- Prueba de tracción para la funda aislante GS con guarnición helicoidal; de un durmiente y se realizará de acuerdo a lo indicado en la prueba de tracción para funda aislante GS con guarnición helicoidal.
- Prueba de resistencia eléctrica, se realizará en un durmiente de acuerdo a lo indicado en la prueba de resistencia eléctrica de la especificación funcional.

✓ PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD DURANTE LA FABRICACIÓN.

Para la aprobación de los durmientes durante la fabricación en serie, deberán realizarse las siguientes pruebas de control y se deberán cambiar los apoyos de neopreno cada 25 durmientes sometidos a pruebas de los durmientes de un lote; un lote indica aquí el conjunto de 200 ó fracción de 200 durmientes colados en una misma jornada.

Las pruebas de control de calidad de los materiales componentes, se realizarán de acuerdo a lo indicado en el anexo No. 5 de la presente especificación.

✓ RECEPCIÓN PROVISIONAL.

La recepción provisional de durmientes será expedida después de las dos verificaciones siguientes:

- a) Verificación en fábrica de que todas las piezas satisfagan los requisitos indicados en la presente especificación y en los planos constructivos correspondientes.
- b) Verificación del aspecto después de la entrega en los talleres o almacenes indicados por PMDF y/o su representante.

La recepción provisional de los durmientes aceptados, será notificada al proveedor mediante la entrega de un recibo emitido, fechado y firmado por el representante de PMDF, en el que se precisará el número de durmientes recibidos.

La recepción provisional de los elementos de fijación se realizará por separado, debiéndose realizar las verificaciones y pruebas que se indican en las especificaciones técnicas correspondientes.

NOTAS:

- 1) Si uno de los durmientes sometidos a prueba resulta satisfactorio, el lote será aceptado, en caso de que no cumpla con las pruebas, se probarán 5 durmientes adicionales, los 5 durmientes deberán satisfacer todas las pruebas, de lo contrario, todo el lote será rechazado. No obstante, el proveedor tiene la posibilidad de realizar las pruebas sobre cada uno de los durmientes del lote rechazado y entonces los durmientes que cumplan con las pruebas podrán ser aceptados.
- 2) Para curado normal y cuando en las pruebas a 14 días se obtengan resultados desfavorables, el fabricante tendrá la opción de realizar a los 28 días las pruebas y en caso de que todas las pruebas sean satisfactorias, el lote podrá ser aceptado como bueno y utilizarse después de los 28 días de edad.
- 3) Cuando se utilice curado a vapor y se obtengan resultados desfavorables en las pruebas a 7 ó 14 días respectivamente, el fabricante tendrá la opción de realizar a los 14 ó 28 días estas pruebas y en caso de que todas las pruebas sean satisfactorias, el lote podrá ser aceptado como bueno y utilizarse después de los 28 días de edad.

4. CASO DE ESTUDIO, PROCESO DE FABRICACIÓN DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO PARA LA LÍNEA 12 DEL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO LÍNEA 12 DEL METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

El proyecto metro del Distrito Federal a solicitud del gobierno del de la misma entidad, planteo la construcción de la línea 12 para conmemorar el bicentenario de la independencia de México, llevando por nombre “Dorada” y así darle solución al problema de transporte de la zona oriente. El trazo se ubica en las delegaciones de Tláhuac, Iztapalapa, Coyoacán y Benito Juárez. Con una longitud de 24,826 metros. Sobre la base de “precio alzado” y tiempo determinado, misma que está integrada por, 20 estaciones, 20 tramos, 3 pasarelas de correspondencia, 2 naves de depósito, 1 taller. La construcción de la línea se realizara en dos etapas: la primera partiendo de Tláhuac a Atlalilco, iniciando el día 3 de julio de 2008 y concluye el día 30 de abril del 2011. Para la segunda etapa se considera de Atlalilco a Mixcoac y termina el día 30 de abril del 2012.

La construcción de la línea 12 del metro, dentro del Sistema Colectivo de Transporte forma parte del programa de “Inversión pública” más grande del país de los últimos 10 años por contar con la cantidad de 17 mil quinientos ochenta y tres millones de pesos.

Para el inicio de esta obra se han adquirido ya el 75% de los terrenos necesarios y el resto se irán obteniendo de acuerdo a las negociaciones con ejidatarios y/o comerciantes según sea el caso, sin que esto ocupe algún impedimento para su realización. Los comercios se puede decir que son el 35%, otros 30% de casas habitación y el resto baldíos.

En base de los estudios llevados a cabo por empresas especializadas contratadas por el gobierno de la ciudad se reducirá el tiempo de traslado de las personas de Tláhuac al Centro Histórico, de dos horas a 45 minutos; reduciéndose también el costo de transportación de \$13.00 a \$4.00 y además de poder movilizar diariamente la cantidad aproximada de 400 mil usuarios de días laborables.

Debido a la demanda estimada de pasajeros diarios que es superior a los 367,000 pasajeros diarios en día laborable, el Sistema de Transporte Colectivo Metro decide realizar la construcción de la Línea 12 del metro o Línea Dorada, con lo cual la Línea 12 pasará a ocupar el cuarto lugar de la Red de Metro, misma que podrá alcanzar los

450,000 con el ordenamiento del transporte colectivo y la redistribución de viajes locales y regionales.

Los estudios y análisis base del propósito son:

1. Estudio de prefactibilidad de Línea 12 (2000-2002)
2. Estudio para proyecto de Metrobús en los corredores: Tláhuac-Tasqueña y Santa Martha-Mixcoac (Eje 8 Sur) 2002-2004.
3. Análisis de sensibilidad de la demanda con el EMME/2 (2007)
4. Encuesta de origen y destino 1994.
5. Encuesta de movilidad a 475,000 usuarios en la Red (2007)
6. Encuesta de aceptación organizadas en el presente año, por los jefes delegacionales.
7. Consulta Verde, con una participación mayor a las 1, 033,000 personas.
8. Actualización del Estudio de Demanda para la Línea 12 Tláhuac – Mixcoac.

OBJETIVOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA 12

1.- Brindar servicio de transporte masivo de pasajeros en forma rápida, segura, económica y ecológicamente sustentable a los habitantes de siete delegaciones.

- Tláhuac
- Iztapalapa
- Coyoacán
- Benito Juárez
- Xochimilco (desde Tulyehualco)
- Milpa Alta
- Álvaro Obregón

2.- Mejorar el desempeño de la totalidad de la Red del Metro, al proporcionar conectividad con las Líneas 8, 2, 3 y 7 en el sur de la Ciudad de México.

DELEGACIONES BENEFICIADAS

- Iztapalapa: La más poblada
- Tláhuac: Con el mayor índice demográfico
- Coyoacán y Benito Juárez: Con importantes índices de saturación vial
- Xochimilco: Comunicación adicional al centro por Tulyehualco
- Milpa Alta: Comunicación directa al CETRAM Tláhuac por Tecomitl

BENEFICIOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA 12

- Vialidades: Construcción de vialidades conforme a un proyecto integrado en la zona de influencia, para reforzar el transporte público y evitar la competencia excesiva con la nueva línea del Metro (puentes vehiculares y peatonales,

ampliaciones, adecuaciones geométricas, nueva señalización horizontal y vertical e instalación de semáforos).

- Ciclovías y estacionamientos: Incorporación de facilidades al uso de la bicicleta en el diseño de estaciones y vialidades relacionadas.
- Nuevo diseño de estaciones: Incorporación de escaleras eléctricas, salva escaleras, bandas transportadoras, torniquetes mixtos (con capacidad para lectura de boletos unitarios y tarjetas electrónicas); baños y accesibilidad total a personas con discapacidad.
- Desarrollo urbano, ecológico y turístico en la zona de influencia: Mejoramiento y ampliación de la capacidad del drenaje existente, especialmente en áreas de inundaciones.
- Ampliación del área de reserva ecológica en la zona con el posible desarrollo de un centro de conservación y turismo ecológico.
- Equipamiento para la seguridad pública, incorporando vigilancia en las instalaciones y mejorando la iluminación en la zona de influencia.

RENTABILIDAD SOCIAL DE LA INVERSIÓN

1. Se logrará aplicar una alta inversión pública a la solución de problemas de transporte existentes en el sur de la Ciudad, en los recorridos de oriente a poniente, de aproximadamente trece mil doscientos millones de pesos.
2. Se disminuirá el tiempo excesivo de transportes por falta de infraestructura y congestión vial (al sur-oriente opera a nivel "F" o saturación a mayor parte del día); hasta en 2 horas y media por día.
3. Se logrará generar un importante ahorro, por el alto gasto de transporte cotidiano de las familias de bajos ingresos (\$13.50 diarios por persona).
4. Con la entrada en operación de la Línea 12, este gasto disminuirá hasta en \$9.50 diarios por persona en viajes al centro de la Ciudad.
5. Se disminuirá la contaminación del ambiente por emisiones de gases y ruido que desprenden los vehículos de combustión.

BENEFICIO SOCIAL Y ECONÓMICO

1. Se ofrecerá un servicio de transporte rápido, eficiente, ambientalmente limpio, económico y seguro.
2. Por lo tanto se mejorará la calidad de vida de la población, sobre todo de la región sur-oriente de la Ciudad de México.
3. Se aumentará la productividad de la Ciudad al reducir el tiempo de transporte hasta en una hora quince minutos desde la terminal sur-oriente al centro del D.F. por persona.
4. Se ampliará el tiempo disponible para otras actividades de individuos y familias beneficiadas.
5. Se transformará el entorno vial y urbano actual hacia áreas de convivencia urbana.

EFICIENCIA

- La inversión en Metro detonará otros proyectos públicos y privados en la Ciudad.
- Se reducirá de dos horas a 45 minutos el tiempo de viaje desde la terminal sur-oriente al centro de la Ciudad, por las demoras acumuladas producto de la ineficiencia de servicios de transporte colectivo.
- Se ofrecerán diversas opciones de conexión del sur-oriente con las principales zonas de servicios, empleo, educación y recreación de la Ciudad de México.

ASPECTOS RELEVANTES DEL PROYECTO:

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y OPERATIVAS

- 24.5 Kilómetros de Línea.
- 20 Estaciones.
- 28 Trenes (al inicio de la operación intervalo de 3.9 minutos).
- 35 Trenes (intervalo mínimo de 2.5 minutos en horas pico).
- Mínima distancia en transbordos.
- Alternativas de integración comercio formal e informal en terminales, estaciones y aledaños.
- Posibilidad de desarrollo inmobiliario en terminales y estaciones.
- Preparaciones para continuidad de la Red.
- Reordenamiento del transporte en el corredor y puntos de transferencia.
- Infraestructura planeada considerando necesidades de operación y mantenimiento de la Línea.
- Programa de desvíos de tránsito por la construcción de obras.
- Áreas de estacionamiento para bicicletas en terminal Tláhuac y estaciones.
- Diseño de ciclovías a lo largo de la ruta.



Figura N° 5. Línea 12 metro de la ciudad de México Tláhuac – Mixcoac.

CONECTIVIDAD AL SUR-ORIENTE

- Recorrido: Inicia en Tláhuac y avanza por la avenida del mismo nombre hasta Calzada Ermita, donde el trazo se prolonga sobre Eje 8 Sur hasta salir a División del Norte; dará vuelta hacia el Norte hasta el Parque de los Venados, para continuar hacia el poniente en Eje 7 Sur y finalizar en Mixcoac.
- 4 nuevas estaciones de correspondencias:
 Atlalilco: Línea 8 (Garibaldi – Constitución de 1917)
 Ermita: Línea 2 (Tasqueña – Cuatro Caminos)
 Zapata: Línea 3 (Indios Verdes – Universidad)
 Mixcoac: Línea 7 (El Rosario – Barranca del Muerto)
- Para primer transbordo ofrece 7 líneas y 15 estaciones de enlace directo: Salto del Agua, Pino Suárez, Balderas, Tacubaya, Chabacano, Bellas Artes, Tacuba, Hidalgo, Santa Anita, La Raza, Deportivo 18 de Marzo, El Rosario, Centro Médico, Garibaldi y Guerrero.
- Conexión con: Tren Ligero, Metrobús Insurgentes, Terminal de Autobuses del Sur y Próximamente con Metrobús Xola.

La Línea mejorará el desempeño de toda la Red del Metro, aumentará la conectividad de las Líneas 8, 2, 3 y 7 en el sur de la Ciudad de México.

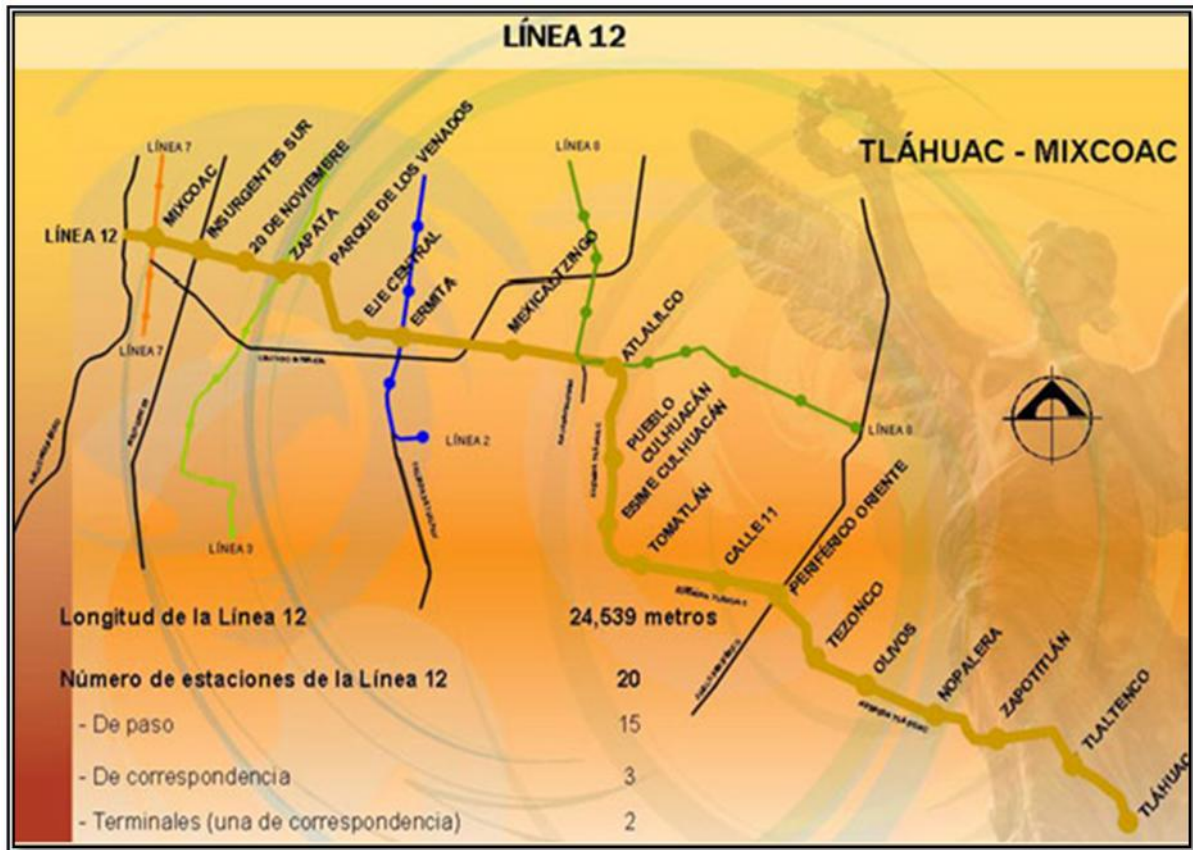


Figura N° 6. Longitud línea 12 del metro de la ciudad de México.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Trenes:

1. De rodada férrea
 2. De 8 vagones cada uno
 3. 28 trenes (al inicio de la operación intervalos de 3.9 minutos)
 4. 35 trenes (intervalo mínimo de 2.5 minutos en horas pico)
- Puesto de Control de Línea: (PCL)
 - Pilotaje automático: digital
 - Subestaciones de Rectificación: 14 en línea 1 en talleres 1 en plataforma de 4000kw.
 - Alimentación de energía eléctrica: en alta tensión 230 KVA (tarifa HT)
 - Tracción: Línea elevadiza de contacto (catenaria) de 1500 vcc
 - Señalización: en línea
 - Radio telefonía: radio troncalizado digital tecnología Tetra
 - Video vigilancia: basada en CCTV con cámaras vía red (IP) y análogas

4.2 CRITERIOS GENERALES PARA LA FABRICACIÓN DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO

La teoría de los durmientes de concreto para vías férreas se desarrollo teniendo como objetivo el punto de vista económico, de modo que pudiera competir con los tipos convencionales de durmientes de madera y acero desde un principio se decidió conservar el modelo fundamental de la sección transversal y usar concreto presforzado. También se tuvo el propósito de hacer el mejor uso posible de las ventajas ofrecidas por el concreto como material, es decir su capacidad de ser fácilmente moldeado, su alto peso específico y su gran durabilidad.

En lo que al peso del riel se refiere se ha notado que el riel pesado permanece más firme que el riel ligero esto reduce el costo de mantenimiento y cuando hay grandes esfuerzos de compresión por temperaturas elevadas, los durmientes de concreto más pesados, impartirán una mayor estabilidad a la vía. De aquí que los durmientes de concreto harán posible usar rieles soldados con mayor seguridad que los durmientes convencionales.

El lograr una larga vida de servicio de los durmientes de concreto, depende del cumplimiento de dos condiciones:

- a) Una alta calidad (resistencia al intemperismo) del concreto que va a ser usado.
- b) que los durmientes se proporcionen en dimensión correctamente para prevenir su rotura bajo las condiciones de carga de servicio. En tanto es importante establecer la mínima capacidad de carga requerida para un durmiente de concreto, también debe tomarse en cuenta el diseño de los accesorios para el anclaje del riel a los durmientes, la resistencia eléctrica de los rieles y los procedimientos para el tendido y conservación de la vía ya que debido a su producción en serie el menor ahorro en cada durmiente, optimizará las ganancias.

Para diseñar los durmientes de concreto se partirá de la necesidad de resistir, sin romperse, los máximos esfuerzos que pudieran ocurrir bajo las condiciones normales de operación. Esto significa que bajo condiciones anormales, tales como una contracción de la vía debida a heladas, asentamiento del lecho de la vía o descarrilamiento, el cuerpo del durmiente se agrietará; tales condiciones afectarán solamente unos pocos durmientes.

Los durmientes de concreto presforzado en comparación con los de concreto reforzado, tipo normal, tienen ventajas considerables al presentarse las grietas porque una vez desarrolladas se cerrarán fuertemente las caras de ellas tan pronto como la carga viva es removida y así la reducción en la vida útil será despreciable, porque la destrucción se detiene completamente.

4.3 DIMENSIONAMIENTO DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO

Los durmientes terminados deberán cumplir con las dimensiones que se enlistan a continuación:

- a) La longitud del durmiente será de 2400 mm.
- b) El ancho de la cara inferior del durmiente podrá ser constante o variable, con un máximo de 330 mm y un mínimo de 260 mm pero la superficie de apoyo en el balasto bajo cada riel, no será menor de 2204 cm² considerando una longitud de 850 mm a partir del extremo del durmiente.
- c) El ancho de la cara superior del durmiente no será mayor de 330 mm en ninguna sección, el ancho de la superficie de apoyo del patín del riel no será menor de 190 mm.
- d) El peralte del durmiente será de 250 mm como máximo y 150 mm mínimo.
- e) La profundidad del anclaje (funda aislante GS) de los tirafondos será la indicada en el plano del anexo No 8 y anexo No 7, durmiente de concreto tipo monobloque para riel 115 R.E., para el caso de durmientes pretensados, que presente el proveedor a PMDF.
- f) La inclinación o pendientes que tienen las superficies de apoyo del riel y de las grapas con el durmiente serán las que se indiquen en los planos antes mencionados.
- g) El peso del durmiente será propuesto por el fabricante y aprobado por PMDF e indicado en los planos que presente el proveedor.

TOLERANCIAS.

Los durmientes deberán ser intercambiables en la vía, lo que conduce a realizar verificaciones geométricas por medio de escantillones que serán suministrados por el proveedor y a su cargo; el diseño de dichos escantillones deberá someterse previamente a la aprobación de PMDF.

Los durmientes terminados deberán satisfacer, en el momento de su presentación para recepción, las tolerancias y condiciones siguientes:

TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS.

Se verificarán auxiliándose con los escantillones que aparecen en el anexo No. 2 de la especificación funcional.

- a) La longitud total del durmiente tendrá una tolerancia de ± 5 mm.
- b) En el ancho de la parte inferior del durmiente, una tolerancia de ± 5 mm.
- c) En la altura una tolerancia de ± 5 mm.
- d) La pendiente de la superficie de apoyo del riel, se comprobará con el escantillón indicado en la figura 1 del anexo No. 2 de la presente especificación y la tolerancia es de ± 0.5 mm.
- e) Topes.
 - Distancia entre los topes extremos $+1, -2$ mm. (Ver figura 2 del anexo No. 2).
 - Distancia entre los topes de una fijación ± 0.5 mm. (Ver figura 3 del anexo No. 2).
 - Planeidad entre las superficies de apoyo del riel ± 0.5 mm. (Ver figura 4 del anexo No. 2).
- f) La ubicación de los tirafondos GS tendrá una tolerancia de ± 0.5 mm. (Ver figura 5 del anexo No. 2).
- g) Diferencia de altura entre las superficies de apoyo del riel y de las grapas con una tolerancia de ± 0.5 mm. (Ver figura 6 del anexo No. 2).
- h) La pendiente transversal de las superficies de apoyo del riel tendrá una tolerancia de ± 2 mm. (Ver figura 6 del anexo No. 2).

Las tolerancias de las demás dimensiones que forman parte del durmiente y que no se mencionan en esta especificación funcional, las deberá proponer el proveedor en los planos que presente para aprobación de PMDF, según el caso.

4.4 PROCESO DE FABRICACIÓN

En los inicios de la construcción, el éxito de un constructor frecuentemente dependía de su habilidad para manejar, guiado únicamente por la intuición y sus experiencias personales: elemento humano materiales y equipo, en función de ejecutar la obra en el menor tiempo al más bajo costo.

Hoy en día, este sistema ha sido reemplazado casi en su totalidad por la planeación minuciosa de cada paso de la obra antes de que esta se inicie, escogiendo los recursos idóneos para realizar un proyecto definido, previo análisis exhaustivo del mismo. Se determinan así, los mejores métodos constructivos para su correcta ejecución, manteniendo controles adecuados mediante reportes periódicos del avance de la obra, de los costos presupuestados y, en general, de parámetros que puedan ayudar a corregir desviaciones y a perfeccionar el plan original.

Así entonces el proceso de fabricación, es el conjunto de operaciones manuales y mecánicas que el contratista realiza durante la ejecución de la obra, de acuerdo a planos y especificaciones, divididas convencionalmente para fines de medición y pago; incluyendo el suministro de los materiales correspondientes cuando estos sean necesarios. De ahí que las especificaciones sean el conjunto de requerimientos exigidos en los proyectos y presupuestos, para definir con precisión y claridad el alcance de los conceptos de trabajo. Las especificaciones de un concepto en particular, deben contener las siguientes definiciones:

- a) Descripción del concepto
- b) Materiales que intervienen, y su calidad
- c) Alcance de la ejecución del concepto
- d) Mediciones para fines de pago
- e) Cargos que incluyen los precios unitarios

El procedimiento para la fabricación de los durmientes monobloque de concreto pretensados cuenta con la tecnología de vanguardia, distinguiéndose siempre por sus altos estándares de calidad, equiparable a la tecnología utilizada en Europa y Norteamérica. En la planta de prefabricados para la línea 12 del metro de la ciudad de México. Inicia con la fabricación de durmientes en la planta de prefabricados y termina con la entrega de los durmientes en obra de la línea 12 del metro de la ciudad de México, sin considerar la descarga.

El procedimiento constructivo para la fabricación de los durmientes monobloque de concreto presforzado de la línea 12 del metro de la ciudad de México, consta de las siguientes etapas:

I. Limpieza del molde metálico

La superficie del molde metálico de la línea de fabricación de los durmientes, deberán estar perfectamente limpias y secas, libres de polvo, grasas o sustancias extrañas, por lo antes expuesto el procedimiento se inicia con el retiro de todo desperdicio de concreto, limpiando minuciosamente cada parte del interior de los moldes, colindancias intermedias de moldes e inclusive los vástagos; para finalmente aplicar una capa de desmoldante, se verifica que la superficie quede impregnada de desmoldante. En seguida se realiza la aplicación de grasa en los vástagos para la colocación de la funda aislante GS con guarnición helicoidal, al mismo tiempo que se cuida de no dejar excesos de desmoldante.



Figura N° 7. Limpieza del molde metálico.



Figura N° 8. Aplicación de desmoldante.



Figura N° 9. Aplicación de grasa en placas y pernos.

II. Colocación de accesorios

Una vez realizada la limpieza y supervisando paso a paso que las actividades antes mencionadas hayan cubierto totalmente la superficie del molde así como los vástagos; se procede a la colocación de la funda aislante helicoidal GS, en cada uno de los vástagos distribuidos a lo largo del molde metálico. Se corta el alambre a la longitud que requiera la línea, insertándolo en las placas de anclaje y distribuyéndolo a lo largo de la línea con la maquina distribuidora, colocando las placas guías separadoras se utilizan 3 tamaños distintos para que entren en los espacios que corresponden entre alambres, son 3 diferentes pero de igual longitud 190 cm y un espesor de 1.2 cm, con ancho variable de placa base de 12 cm las siguientes 3 placas de 2.5 cm y por ultimo una de 4.0 cm, para posteriormente colocar las vainas que alojaran al perno en los aditamentos formadores del perno tirafondo. Se insertan las cuñas metálicas en cada uno de los alambres, los cuales llevan una guía en los extremos de la línea de molde, se colocan en posición estas guías.



Figura N° 10. Aplicación de grasa en placas y pernos.



Figura N° 11. Colocación de placas guía.

III. Tensado

Antes de la utilización de los aceros de presfuerzo y/o refuerzo, estos serán limpiados para retirar cualquier pintura, óxido y toda materia susceptible de atacar el metal o al concreto, o de reducir la adherencia entre ambos.

El presfuerzo a aplicar de acuerdo a proyecto es de 31 KN (1 kilo Newton, equivale a 101.971 kg-fza), a cada alambre puesto que el tensado se realiza simultáneamente, se aplican 6700 psi (1 psi ó libras por pulgada cuadrada, equivale a 0.07032 Kg/cm², esto debido a que el equipo es de origen europeo se utiliza este tipo de unidades); a toda la línea de alambres que consta de 108 alambres ya que el banco de colado en su medida de ancho aloja 6 durmientes de los cuales llevan 18 alambres con un diámetro de 5.32 mm cada uno de estos. Se toma la lectura y lo registra el área de laboratorio y control de calidad, cuyo registró esta a resguardo de dicha área.



Figura N° 12. Colocación de alambre y tensado.



Figura N° 13. Verificación de nomenclaturas accesorios y alambre previamente colocados.

IV. Colado

Se solicita el concreto según las características de proyecto al responsable de planta de concreto, lo autoriza y entrega a operador de planta para suministro de concreto de acuerdo a la hora solicitada, se prepara concreto de acuerdo al procedimiento de fabricación en este caso el concreto es preparado en una plata localizada aproximadamente a 20 metros de la línea de producción. El concreto preparado es vaciado en una bacha (el cual es un contenedor de 1.5 m³ de volumen), que es llevado por un montacargas a la maquina que distribuye el concreto, la bacha se coloca en el contenedor de la maquina y se vacía el concreto para colocarlo en los moldes, la maquina concretadora va compactando el concreto acomodándolo en cada cavidad del molde. Antes de vaciar el concreto al contenedor de la maquina, el laboratorista debe verificar el revenimiento este deberá de ser 12 +/- 3.5 cm; una vez que el concreto alcanzo el nivel máximo del molde, se da una compactada manualmente y el concreto que caiga del molde puede ser regresado a la maquina concretadora siempre y cuando cumpla con la fluidez requerida para distribuirlo.



Figura N° 14. Colado.

V. Retiro de placas

Cuando el concreto adquiere un fraguado parcial, se procede a retirar las placas separadoras de los moldes y se realiza su limpieza para reutilizarlas nuevamente. Esto se lleva a cabo por medio de un equipo.



Figura N° 15. Retiro de placas.

VI. Curado

El curado del concreto de preferencia, deberá efectuarse mediante vapor húmedo a presión ambiental que permita acelerar la resistencia del concreto. Para esto se cubre la línea de producción con lonas para que mediante las tuberías que corren a lo largo de la línea, expulse vapor, el cual se distribuirá a una determinada temperatura a lo largo de la línea de producción. Se establece un tiempo de reposo inicial de 2 horas, se comienza con la apertura de válvulas después de este y se mantiene una temperatura de límite inferior de 10°C y un límite superior de 60°C, terminando con un reposo final de 2 horas, haciendo un total de 8 horas, el cual se muestra a continuación en una grafica de curado que relaciona el tiempo en horas y la temperatura para no rebasar estos límites. Se controlan las temperaturas cada hora, revisando que estén dentro del rango establecido por el laboratorio y las registra en el formato designado para ello, dentro de la cámara de curado se dejan las muestras de concreto que se tomaron para ensayarlas antes del destensado de la línea. Se realiza el cierre de válvulas de las tuberías de curado, después del tiempo establecido por el área de producción y el laboratorio.



Figura N° 16. Curado a Vapor.

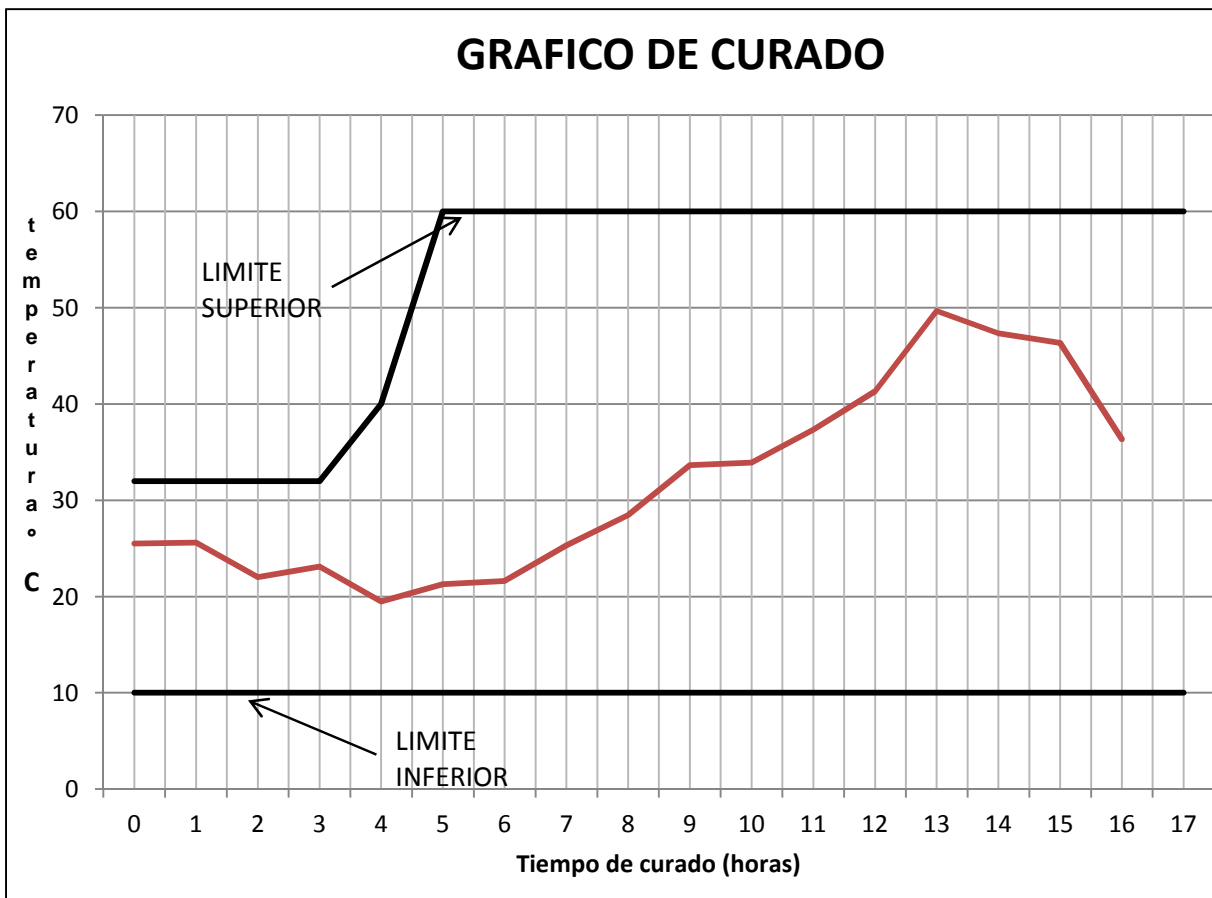


Figura N° 17. Grafica de Curado a Vapor.

VII. Liberación del presfuerzo y desmoldeo

Se coloca la máquina de destensado en un extremo de la línea de producción, se insertan los gatos en los alambres de presfuerzo y estos empujan hacia afuera la estructura de anclaje, la fuerza a aplicar no debe de pasar de 1000 psi (1 psi ó libras por pulgada cuadrada, equivale a 0.07032 Kg/cm²), se retira la máquina de destensado y se cortan los alambres de los extremos de la línea, para efectuar el corte, con el equipo de corte se inserta el disco en la parte superior de la separación entre molde y molde, se baja el disco el operador lo alinea visualmente y se cortan los alambres de todas las separaciones longitudinales donde se colocaron las placas.

Una vez realizada la liberación del presfuerzo se coloca la maquina desmoldeadora sobre la línea de producción, con el sistema de gatos toma el molde, se levanta el molde, le da la vuelta, baja el molde, coloca una cama de polines sobre el molde, extrae los durmientes del molde y los coloca sobre los polines, la cantidad de durmientes desmoldados por evento son de 6 piezas, este proceso se repite por cada molde. En caso de que durante el desmoldeo se dañe un durmiente o bien este tenga defectos en su fabricación será apartado y llevado al área de producto no conforme. El encargado de producción podrá evaluar si el durmiente puede ser resanado siempre y cuando el daño que presente no sea de tipo estructural, se retiran los durmientes de la línea de moldes para llevarlos al área de almacenaje, de acuerdo a la logística de producción y almacenaje, el avance de la fabricación es registrado en el reporte semanal. En esta planta se fabrican aproximadamente de 300 a 600 piezas por día.

Una vez realizado el desmontaje, se transportan de dos a tres camas de durmientes en el montacargas, se verifica que durante el retiro de los durmientes del área de producción al área de almacenaje estos no sufran ningún daño, se colocan hasta doce camas de durmientes, se verifica visualmente que durante la formación de las estibas éstas queden alineadas lo mejor posible.

Antes de proceder a enviar los durmientes a obra, estos son liberados por la supervisión, el producto debe de cumplir con las verificaciones que indica el plan de control de procesos, cuyos registros son generados y están a resguardo por el área de laboratorio, posteriormente con el montacargas se toma de 3 a 4 camas de durmientes y la sube a la plataforma, se colocan dos polines debajo de cada cama de durmientes para que estos no se lastimen. La carga de durmientes será con la cantidad que no sobrepasen las 30 toneladas de capacidad del transporte, se verifica visualmente que los durmientes ya cargados en la plataforma no hayan sufrido ningún golpe o cualquier daño que afecte la calidad del mismo. Se elabora la orden de envío y la entrega al almacén para que se elabore la remisión, esta es firmada de recibido por parte del cliente y/o su representante, y liberada por el jefe de laboratorio de control

de calidad, se asegura la carga con eslingas para transportarla al lugar donde indique el cliente.



Figura N° 18. Liberación de presfuerzo, desmoldeo y retiro de durmientes.



Figura N° 19. Verificación de laboratorio.



Figura N° 20. Verificación de laboratorio toma de muestras de cilindros de 15 x 30 cm.



Figura N° 21. Verificación de laboratorio toma de muestras

4.5 CONTROL DE CALIDAD

La historia del control de calidad se remonta, indudablemente, a los primeros esfuerzos de producción del género humano. Con toda seguridad, un producto que cumpliera con su cometido debe de haber sido un motivo de orgullo para su fabricante, y sin duda una frustración en el caso contrario. Durante la edad media se popularizó la costumbre de poner marca a los productos y con esta práctica se desarrolló el interés de mantener una buena reputación asociada con la marca. La Revolución Industrial trajo consigo el sistema de fábricas y la especialización del trabajo.

Es un hecho que dicha especialización puede dar por resultado una mayor cantidad de producción a partir de un número dado de horas-hombre, e incluso, es posible hacerlo sin sacrificar la calidad; no obstante, con la distribución del trabajo, la calidad generalmente se ve afectada.

Una de las primeras soluciones al problema de controlar la calidad fue inspeccionar el producto después de fabricarlo la inspección final es aun una etapa necesaria de casi todos los programas de control de calidad.

El control de calidad estadístico (CCE) comenzó en 1924. Walter A. Shewhart, de los laboratorios de la Bell Telephone Company. Fue quien inició la técnica de marcar datos estadísticos en gráficas especiales de tal manera que contribuyeran al control de calidad.

A pesar de la comprobada efectividad del CCE se tardó mucho en aceptar estas nuevas técnicas en un principio. Sin embargo, durante la II Guerra Mundial, la industria, obligada por las necesidades de la guerra comenzó a usar el CCE.

El control de la calidad son las técnicas y actividades operativas a supervisar en un proceso, eliminando las causas del desempeño insatisfactorio en las etapas más relevantes del ciclo de calidad para lograr una efectividad económica.

La tecnología del Control Estadístico de Calidad (CEC) y del Control Total de Calidad está en México desde hace largo tiempo. En nuestros días la competencia internacional y la globalización de las economías hace necesaria su aplicación urgente; todos los profesionistas y profesionales, compañías o instituciones deben conocer y aplicar técnicas estadísticas para analizar mejor los problemas y tomar óptimas decisiones.

Ha pasado la época maniqueísta de la simple y llana separación de lo bueno y lo malo. Ahora es necesario producir y ofrecer servicios con excelencia desde el principio.

La enseñanza, la capacitación y el entrenamiento en las escuelas técnicas y universidades, e incluso el aprendizaje autodidacta, no pueden eludir el *control de calidad* que ahora se facilita enormemente con el uso de la maravillosa herramienta que es la computadora personal.

Quizá durante la década de los años 80 el mundo haya cambiado más que durante los últimos 100 años. La tecnología ha avanzado más los últimos 100 años que durante toda la existencia del hombre.

El término “control” se refiere a la actividad (o inactividad) diseñada para cambiar una condición actual, o para hacer que permanezca inalterable. Desde el punto de vista industrial, el objetivo del control de calidad es mantener una calidad o característica del producto dentro de un nivel satisfactorio.

La aplicación “estadística” significa el uso de un tipo de conocimiento que incluye la recopilación, el análisis y la interpretación de datos para resolver un problema. El principal problema que concierne al control de calidad industrial, tiene algo que ver con el futuro: ¿Se debe aceptar o rechazar un lote? ¿Debe continuarse o no la producción de una parte? Las respuestas a las preguntas que propone el control de calidad se basan en deducciones obtenidas por medio de datos acumulados a través de los años, relacionadas con la característica en cuestión.

A través del buen control de los procesos, se puede ofrecer una buena calidad y confiabilidad, seguridad y protección al ambiente para reducir desechos, reducción de los tiempos de producción, incrementando inclusive la producción.

Entre las actividades que coordina el control de calidad se encuentran las siguientes:

- Especificaciones requeridas de fabricación
- Diseño del producto (muestreo, ensaye y selección de materiales).
- Inspección del producto.

En esta investigación, del proceso de fabricación de los durmientes monobloque de concreto presforzado para la línea 12 del metro de la ciudad de México; toma primordial importancia el Control Estadístico de Calidad (CEC), debido precisamente a las exigencias

impuestas por el Gobierno Del Distrito Federal, Secretaría De Obras Y Servicios, Proyecto Metro Del Distrito Federal (PMDF), en su especificación funcional para la fabricación de durmientes de concreto monobloque para riel 115 RE. No. CLAVE: PMDF-09-VI.8-612000-III-0032-02862-E-01, que a continuación se describen:

-Para la aprobación de los durmientes durante la fabricación en serie, deberán realizarse las siguientes pruebas de control y se deberán cambiar los apoyos de neopreno cada 25 durmientes sometidos a pruebas de los durmientes de un lote; un lote indica aquí el conjunto de 200 ó fracción de 200 durmientes colados en una misma jornada.

-Las pruebas de control de calidad de los materiales componentes, se realizarán de acuerdo a lo indicado en el anexo No. 5 de la especificación antes mencionada (ver anexos).

-Todo producto que no cumpla las características mínimas para decir que es correcto, será eliminado, sin poderse corregir los posibles defectos de fabricación que podrían evitar esos costos añadidos y desperdicios de material.

-Para controlar la calidad de los durmientes, se realizarán inspecciones o pruebas de muestreo para verificar que las características del mismo sean óptimas. El único inconveniente de estas pruebas es el gasto que conlleva el control de cada durmiente fabricado, ya que se eliminan los defectuosos, sin posibilidad de reutilizarlo.

-En principio, todos los durmientes deberán ser verificados y controlados por el proveedor. Sin embargo, los durmientes serán verificados en su totalidad o en parte por el representante de PMDF encargado de la recepción.

-La frecuencia de ejecución de las pruebas de materiales para el control de producción será de acuerdo a lo indicado en el anexo No. 5 (ver anexos).

-MEDICIONES Y PRUEBAS DE VERIFICACIÓN.

La verificación de los durmientes prototipos incluirá:

a) Examen visual del aspecto exterior.

b) Control de las cotas y las tolerancias de acuerdo con las indicaciones anotadas en los planos y en las especificaciones.

c) El control de calidad del concreto.

- d) Pruebas de momento flexionante positivo sobre el asiento del riel.
- e) Prueba de momento flexionante negativo sobre el asiento del riel.
- f) Pruebas de momento flexionante positivo al centro del durmiente.
- g) Pruebas de momento flexionante negativo al centro del durmiente.
- h) Pruebas de carga repetida sobre el asiento del riel.
- i) Pruebas de tracción para funda aislante GS con guarnición helicoidal.
- j) Pruebas de resistencia eléctrica.
- k) Prueba de carga última.
- l) Prueba de carga destructiva.

Luego entonces, la función del control de calidad existe primordialmente como una organización de servicio, para conocer las especificaciones establecidas por la ingeniería del producto (durmiente) y proporcionar asistencia al departamento de fabricación, para que la producción alcance estas especificaciones. Como tal, la función consiste en la recolección y análisis de grandes cantidades de datos que después se presentan a diferentes departamentos para iniciar una acción correctiva adecuada.

5. ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y MONTAJE DE DURMIENTES MONOBLOQUE DE CONCRETO PRESFORZADO

ALMACENAMIENTO

Después de haber cumplido con las verificaciones del fabricante y con el control de PMDF, en lo que se refiere a las dimensiones y al aspecto, los durmientes serán almacenados por lotes en un lugar de fácil acceso; cada lote deberá corresponder como máximo a la fabricación de una jornada en condiciones exactamente iguales. En cada lote se colocará un cartel de lámina o madera de modo que sea siempre visible; este cartel podrá suprimirse si las indicaciones antes mencionadas son anotadas directamente en cada durmiente de manera indeleble.

Durante el manejo para el almacenamiento se tomará de cada lote un durmiente por cada 200, ó fracción de 200, para realizar en él las pruebas de carga a los 14 ó 28 días. Se hace hincapié en que durante el período de fraguado total deberán extremarse las precauciones para evitar fisuras en el concreto de los durmientes.

El almacenamiento de los durmientes podrá realizarse hasta una altura máxima correspondiente a 15 camas como máximo; entre cada cama deberán colocarse separadores de madera de 76 x 76 mm aproximadamente. Los durmientes de camas adyacentes no deberán tocarse entre sí.

Si el curado es normal, el tiempo de permanencia de los durmientes en el almacenamiento, antes de que puedan ser utilizados, será de 14 días como mínimo o a los 28 días como en el caso de los durmientes curados con vapor, el tiempo de permanencia en el almacenamiento será de 7 ó 14 días.

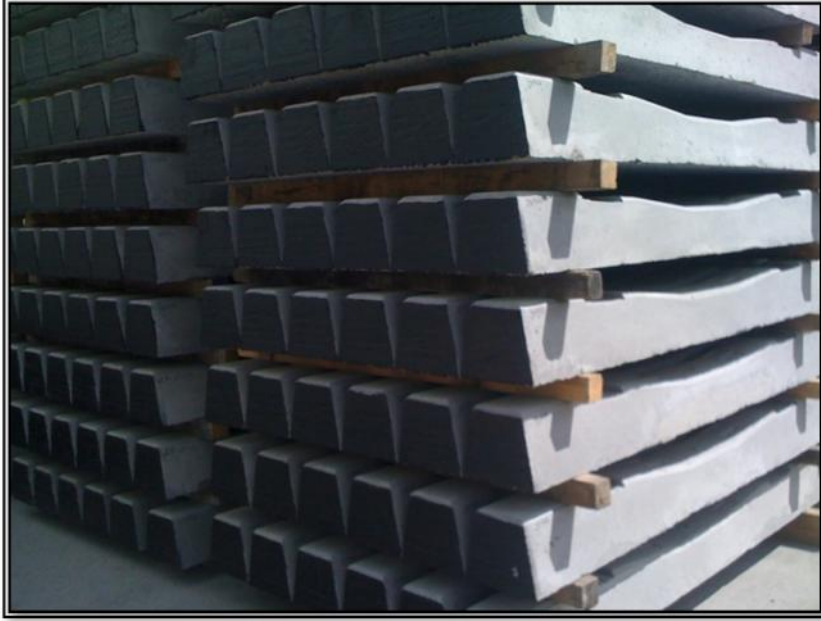


Figura N° 22. Almacenamiento de durmientes monobloque pretensado.



Figura N° 23. Estibado de durmientes monobloque pretensado en 12 camas.

TRANSPORTE.

Al seleccionar el proceso constructivo a utilizar en un proyecto, es necesaria la correcta evaluación del transporte. En gran medida, del resultado de esta evaluación se decide si los elementos serán fabricados en planta fija, en planta móvil o a pie de obra. La incidencia del costo del transporte en el costo total de la obra es directamente proporcional a la distancia por recorrer y a la complejidad del flete. En condiciones normales, es aceptable que una obra que esté a menos de 350 km tenga un costo por transporte del 10 al 20 por ciento del costo total de los prefabricados.

Existen dos tipos de fletes: los que por sus características de peso y dimensiones se ejecutan con equipos de transporte ordinario y los que exceden el peso y dimensiones permitidos en las normas y reglamentos locales o federales. Los primeros se realizan con camiones o tractocamiones y plataformas, y los segundos con equipos de transporte especializado. Por los riesgos que implican el exceso de peso y dimensiones, estas maniobras las deben realizar empresas que cuentan con registro en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

El transporte de los durmientes se podrá hacer una vez que el concreto haya alcanzado el 80% de su resistencia mínima impuesta a 28 días. Los embarques deberán comprender solo aquellos lotes que hayan pasado satisfactoriamente todas las pruebas de recepción. El proveedor deberá tomar todas las precauciones necesarias para evitar cualquier daño o deterioro de los durmientes durante su transporte; de lo contrario, deberá reemplazar a su cargo, todos los durmientes que al momento de la entrega presenten defectos tales que no podrían satisfacer las condiciones de recepción.



Figura N° 24. Transporte de durmientes monobloque pretensado en tráiler de 4 ejes para línea 12 del metro de la ciudad de México.

MONTAJE

En las obras prefabricadas, el montaje representa entre 10 y 30 por ciento del costo total de la obra. En términos generales, mientras mayor sea el volumen de la obra, menor será el costo relativo del montaje. Sin embargo, hay que considerar que los equipos de montaje por ser especializados y generalmente de gran capacidad, tienen costos horarios elevados, por lo que resulta indispensable una buena planeación de todas las actividades. Para la elección adecuada del equipo hay que considerar, entre otras cosas, que la capacidad nominal con la que se le denomina comercialmente a una grúa es la carga máxima que soportará pero con el mínimo radio y a la menor altura. Es obvio que la capacidad nominal de una grúa siempre tendrá que ser mayor que la carga más grande a mover. Esta capacidad disminuirá proporcionalmente a la distancia a lanzar el elemento a partir del centro de giro de la grúa, y a la altura a levantarlo. Los rangos de capacidad se basan en condiciones ideales:

- 1) Nivel de piso firme
- 2) Viento en calma
- 3) No llevar la carga lateralmente ni balanceándose
- 4) Buena visibilidad
- 5) La maquinaria debe estar en buenas condiciones, que no tenga miembros estructurales ni dañados ni fatigados y debe estar equipada como “recién salida de la fábrica”.

En términos simples podemos calcular la capacidad requerida, C, de una grúa con la siguiente función:

$$C = 0.37 W d$$

Donde C es la capacidad requerida, W el peso del elemento (T) y d es la distancia desde el punto de rotación de la pluma hasta el centro del claro de la pieza a montar (m).

También es importante considerar que las grúas de mediana y gran capacidad (mayores de 45 toneladas) tienen en sí mismas exceso de peso y dimensiones, por lo que su traslado y acceso a las obras en ocasiones resulta imposible o incosteable.



Figura N° 25. Montaje de durmientes por medio de grúa.



Figura N° 25. Izado de durmientes.



Figura N° 25. Colocación de durmientes.

6. CONCLUSIONES

Después de describir los diferentes tipos de durmientes para vías férreas, podemos decir que los diseños y elaboración de los mismos se han dado como resultado de las necesidades tanto técnicas como económicas que las vías férreas han impuesto, las cuales cada día son más complejas: las primeras, por el equipo ferroviario cada vez más sofisticado y veloz, lo cual demanda elementos estructurales más resistentes y más durables; y las segundas, por la escasez de las materias primas, como lo es el caso de la madera, y, por lo tanto, costo elevado de las mismas, y por el elevado costo de la mano de obra.

Por otra parte, el empleo de los durmientes obedece a varias causas, como pueden ser: técnicas, económicas, políticas, etc.

Durante mucho tiempo las vías férreas, nuevas o renovadas, serán soportadas por durmientes, de los cuales un número cada vez mayor será de concreto. La mayoría de operadores de trenes considera necesario el uso de vías de soldadura continua, pues reduce los gastos de mantenimiento y, además, proporcionan comodidad a los pasajeros en trenes de alta velocidad. Australia, Nueva Zelanda, Canadá, Irán, Irak, Estados Unidos, Venezuela, Brasil, Nigeria y México se cuentan entre los países que han usado vías con durmientes de concreto. Respaldan su confianza los más de 30 años de experiencia y el uso extensivo de tales durmientes en muchos lugares como la URSS, Sudáfrica y Japón entre otros. Es clara la tendencia mundial a utilizar cada vez más los durmientes de concreto ya sea para vías

nuevas o para reemplazar y mantener vías ya existentes. Esta política se justifica por la alta y consistente calidad del durmiente, por su bajo costo con el tiempo, por su mejor funcionamiento, teniendo en cuenta las dimensiones, cargas y velocidades de los ferrocarriles modernos y, finalmente, por los más altos niveles de seguridad que ofrece.

BIBLIOGRAFÍA

Herrera Peláez Teódulo Sebastián, “Diferentes tipos de durmientes en un ferrocarril”, UNAM, 1981.

González Barradas Rodolfo, “Estudio de los durmientes de concreto pre-esforzado”, UNAM 1953.

José Carreño Romaní, Ernesto R. Mendoza, “Factores de consistencia de costos y precios unitarios”, UNAM, 1980.

Mario Tena Bernal, “Fabricación y el control de calidad de durmientes de concreto en la Republica Mexicana”, UNAM, 1976.

Ortiz Zarate Hugo, “Durmientes de concreto presforzado COMECOP”, FES Aragón, 2000.

Carlos González González, “Control de calidad”, McGraw-Hill, 1991.

Richard C. Vaughn, “Control de calidad”, Limusa, 1995.

Roberto Meli, “Diseño estructural”, Limusa, 1990.

Dan E. Branzon, “Diseño de vigas de concreto presforzado”, IMCYC (Instituto Mexicano del Concreto y el Cemento).

Ben C. Gerwick Jr., “Construcción de estructuras de Concreto”, Limusa, 1978.

A.R.E.M.A (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association)

-Revista

Proceeding of the Institution of Civil Engineers, Vol. 66., Noviembre de 1979, Londres, Inglaterra, D.B. Scott, “Durmientes de concreto”.

ANEXOS

Anexo No. 1. Dimensionamiento general del durmiente de concreto monobloque para riel 115 RE.

Anexo No. 2. Escantillones.

Figura 1: Escantillón para determinar la pendiente de las superficies de apoyo del riel.

Figura 2: Escantillón para verificar la distancia entre los topes extremos de un durmiente.

Figura 3: Escantillón para determinar la distancia entre los topes de una fijación.

Figura 4: Escantillón para verificar la inclinación de las superficies de apoyo del riel.

Figura 5: Escantillón para verificar la ubicación de los tirafondos GS.

Figura 6: Escantillón para verificar la pendiente transversal de las superficies de apoyo del riel.

Figura 7: Escantillón para alojar la almohadilla.

Anexo No. 3. Condiciones de prueba de los durmientes.

Figura 1: Prueba de momento flexionante positivo en el asiento del riel.

Figura 2: Prueba de momento flexionante negativo en el asiento del riel.

Figura 3: Prueba de momento flexionante positivo al centro del durmiente.

Figura 4: Prueba de momento flexionante negativo al centro del durmiente.

Figura 5: Prueba de tracción para la funda aislante GS.

Figura 6: Prueba de resistencia eléctrica.

Anexo no. 4. Gráficas granulométricas.

Figura 1: Curvas granulométricas límite para el control de calidad de la arena.

Figuras 2 y 3: Curvas granulométricas límites para el control de calidad de la grava.

Anexo No. 5. Tabla de pruebas y frecuencia de ejecución para el control de producción de durmientes monobloque.

Anexo No. 6. Notas: Prueba de carga última en el asiento del riel.

Anexo No. 7. Plano Durmiente de concreto- Contra - riel.

Anexo No. 8. Plano Durmiente de concreto convencional.

ANEXO No. 1.



DURMIENTE TIPO MONOBLOQUE.

DIMENSIONES				
	NOMINAL	MÍNIMO	MÁXIMO	TOLERANCIA
A	2,400			± 5
B		260	330	± 5
C		190	330	± 3
D		150	260	± 5
E		150	195	± 5

PLANTA

ACOT: mm
S/E

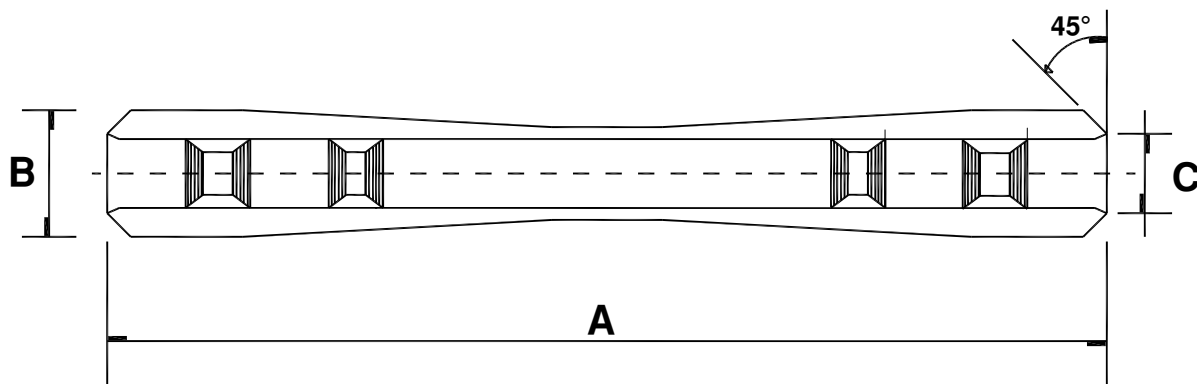


FIGURA 1

ANEXO No. 2.

VERIFICACIÓN GEOMÉTRICA DE LOS DURMIENTES.

1) PENDIENTE DE LAS SUPERFICIES DE APOYO DEL RIEL.

El escantillón "A" permite la verificación del ángulo generado por ambas superficies de apoyo del riel al durmiente.

- Pendiente teórica de cada superficie: 1/20.
- Tolerancia ± 0.5 mm con respecto al ancho de la superficie.

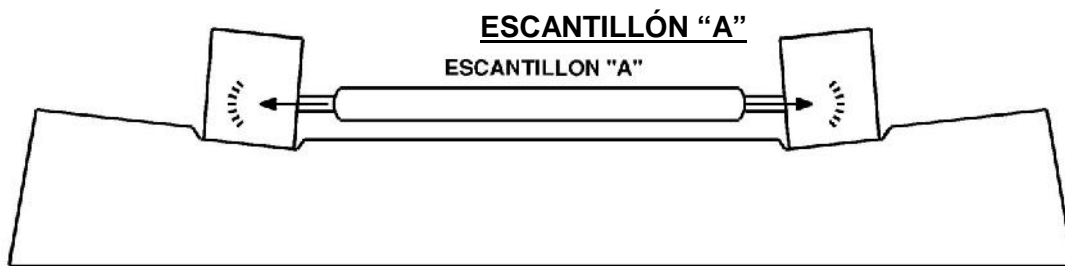


FIGURA 1

Los elementos orientables con respecto a la barra de unión se colocan sobre las superficies de apoyo del riel. Un cursor solidario de la barra indica mediante una graduación fijada en los elementos orientables, el valor de la pendiente.

ANEXO No. 2.

2) DISTANCIA ENTRE LOS TOPES EXTREMOS DEL DURMIENTE.

Se verifica esta distancia por medio de un escantillón "B" del tipo "CORRECTO" ó "INCORRECTO".

Distancia nominal: indicada en un plano tipo (Tolerancia = + 1, -2 mm).

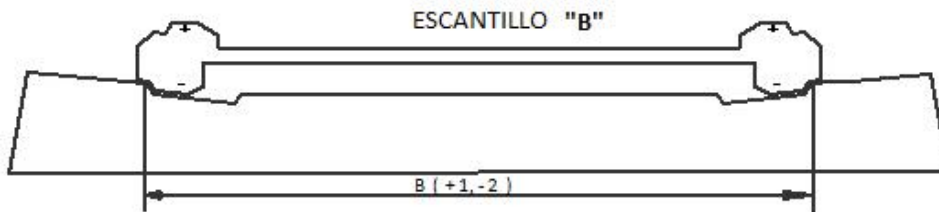


FIGURA 2

3) DISTANCIA ENTRE LOS TOPES DE UNA FIJACIÓN.

Se verifica esta distancia por medio de un escantillón "C" del tipo "CORRECTO" ó "INCORRECTO".

Distancia nominal: indicada en el plano tipo (Tolerancia = ± 0.5 mm).

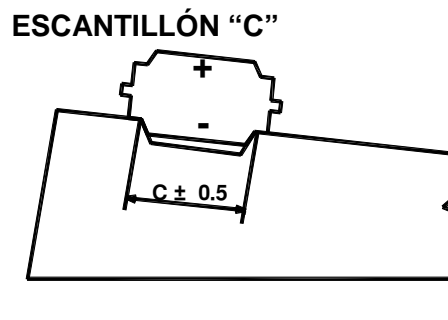


FIGURA 3

ANEXO No. 2.

Se hará esta verificación en las dos cabezas del durmiente.

4) PLANEIDAD DE LAS SUPERFICIES DE APOYO DEL RIEL.

Se verifica esta planeidad mediante un escantillón "D" asentado en 3 puntos, el cual presenta una holgura teórica de 5 mm entre su cara inferior y la superficie por verificar (Tolerancia = ± 0.5 mm).

Distancia nominal: indicada en el plano tipo (Tolerancia = ± 0.5 mm).

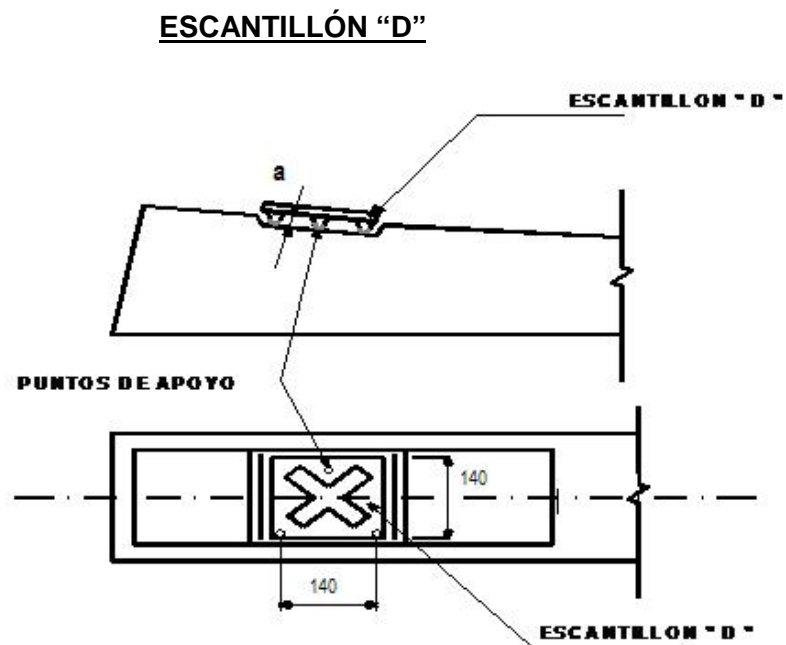


FIGURA 4

El mismo escantillón se emplea para verificar cualquier superficie de apoyo del riel.

La cota $a = 5$ mm se verifica en las diagonales del escantillón por medio de una lámina graduada en forma de cuña.

Se hará esta verificación en las dos cabezas del durmiente.

ANEXO No. 2.

5) UBICACIÓN DE LOS TIRAFONDOS GS.

Se verifica la ubicación de los tirafondos por medio de un escantillón "E" único, el cual debe encajarse en dichos tirafondos con una holgura máxima de 1 mm, este escantillón se ejecuta de tal modo que se hallen holguras iguales con respecto a los topos extremos de una misma cabeza con una tolerancia de ± 0.5 mm.

Distancia nominal: indicada en el plano tipo (Tolerancia = ± 0.5 mm).

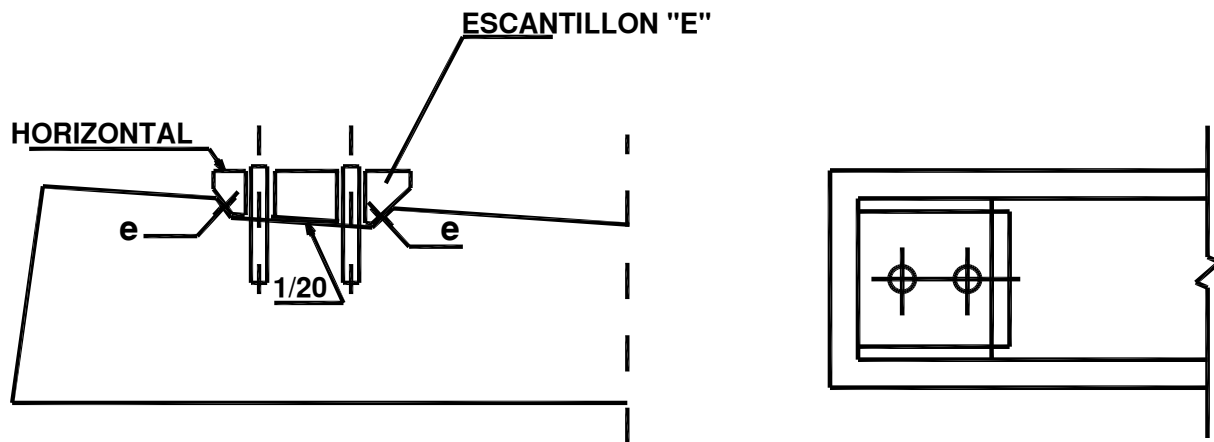


FIGURA 5

6) DIFERENCIA DE ALTURA ENTRE LAS SUPERFICIES DE APOYO DEL RIEL Y DE LAS GRAPAS.

Se empleará el escantillón "F" (ver el figura 6 del anexo No. 7).

Medida de las cotas $a = 5 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$.

ANEXO No. 2.

7) PENDIENTE TRANSVERSAL DE LAS SUPERFICIES DE APOYO DEL RIEL.

Se empleará el escantillón "F".

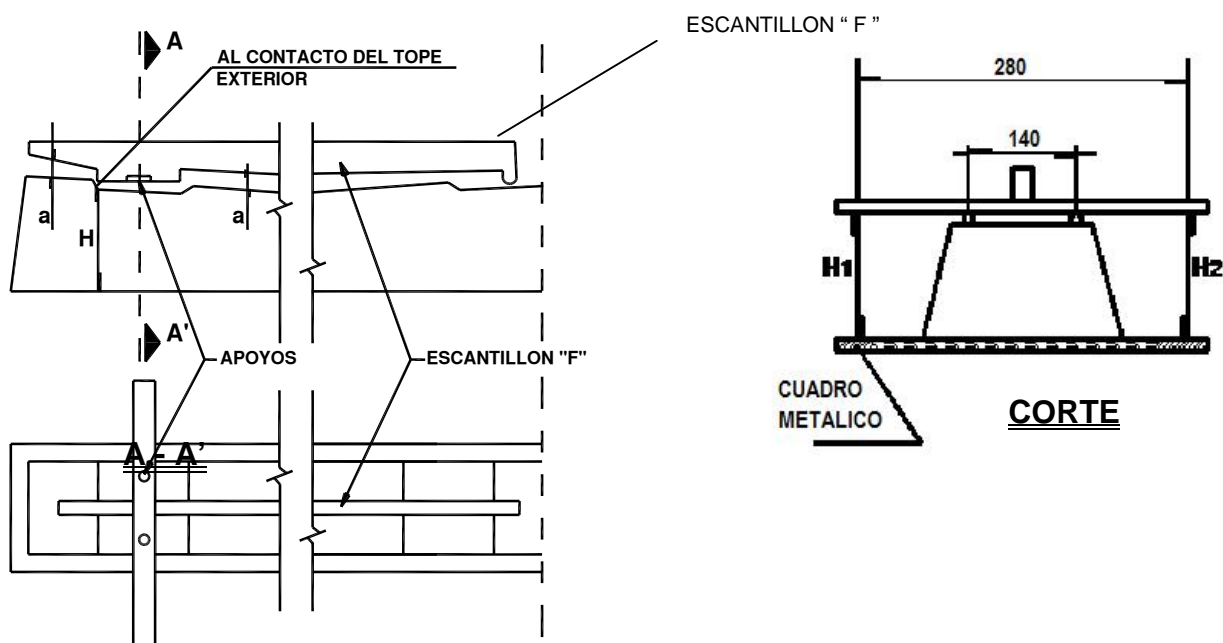


FIGURA 6.

ESCANTILLON PARA VERIFICAR LA PENDIENTE TRANSVERSAL DE LAS SUPERFICIES DE APOYO DEL RIEL.
PENDIENTE POR MEDIO DE LAS COTAS H1 Y H2.
 $H1 = H2$ CON UNA TOLERANCIA DE ± 2 mm.

8) ESPESOR DEL DURMIENTE A LA ALTURA DEL RIEL.

Se deduce este espesor de las cotas H1 y H2 antes mencionadas.

Espesor nominal con una tolerancia (Tolerancia = +6, -3 mm)

Las medidas efectuadas en una cabeza, como se indicó en los incisos 6, 7 y 8 del presente anexo, se ejecutarán también en la otra cabeza del mismo durmiente girando 180° el escantillón "F".

ANEXO No. 2.

Previamente a cualquier medida se cerciorará que el escantillón tenga contacto con el tope exterior de la cabeza por verificar.

9) DIMENSIONES EXTERIORES DEL DURMIENTE.

El ancho del durmiente se medirá:

- En el eje de la superficie de apoyo del riel: Tolerancia ± 3 mm.
- Al asiento (sobre el balasto): Tolerancia ± 5 mm.

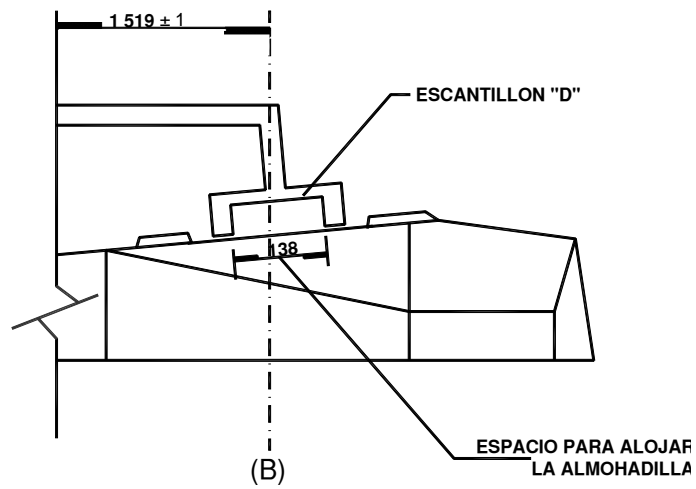
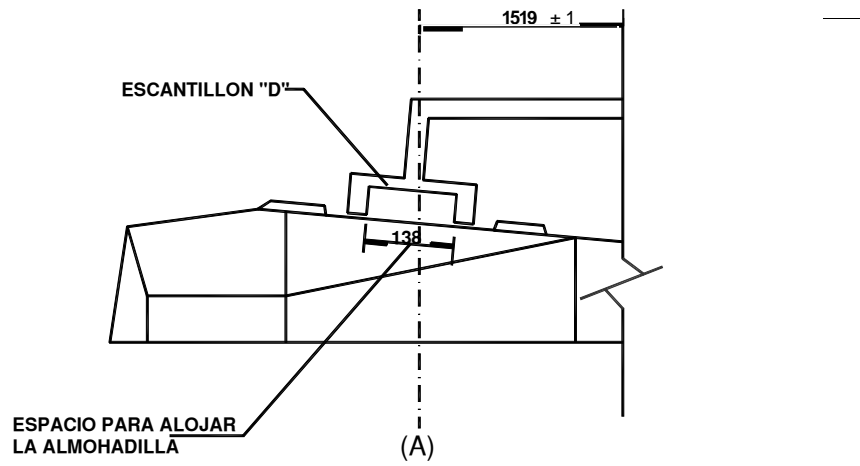
La longitud se medirá en el asiento de la base del durmiente: Tolerancia ± 5 mm.

NOTA:

La medida de las cotas iguales a 5 mm, entre el escantillón y la parte del durmiente se ejecutarán mediante una lámina graduada en forma de cuña con una pendiente menor de 1/5.

ANEXO No. 2

ESCANTILLÓN "D" PARA ALOJAR LA ALMOHADILLA.



ACOT: mm
S/E

FIGURA 7

ANEXO No. 3.

PRUEBA DE MOMENTO FLEXIONANTE POSITIVO SOBRE ASIENTO DE RIEL.

PRUEBA DE FLEXIÓN AL DERECHO.

LA SIGUIENTE FORMULA SE USARÁ PARA DETERMINAR EL VALOR DE P:

$$P = \frac{2 M}{\left(\frac{2x}{3} - 5.7\right)}$$

$$P = \text{Tons.}$$

$$P = \frac{2 (253.5)}{29.366 - 5.7}$$

$$P = \frac{507}{23.66}$$

$$P = 21.42 \text{ Ton.}$$

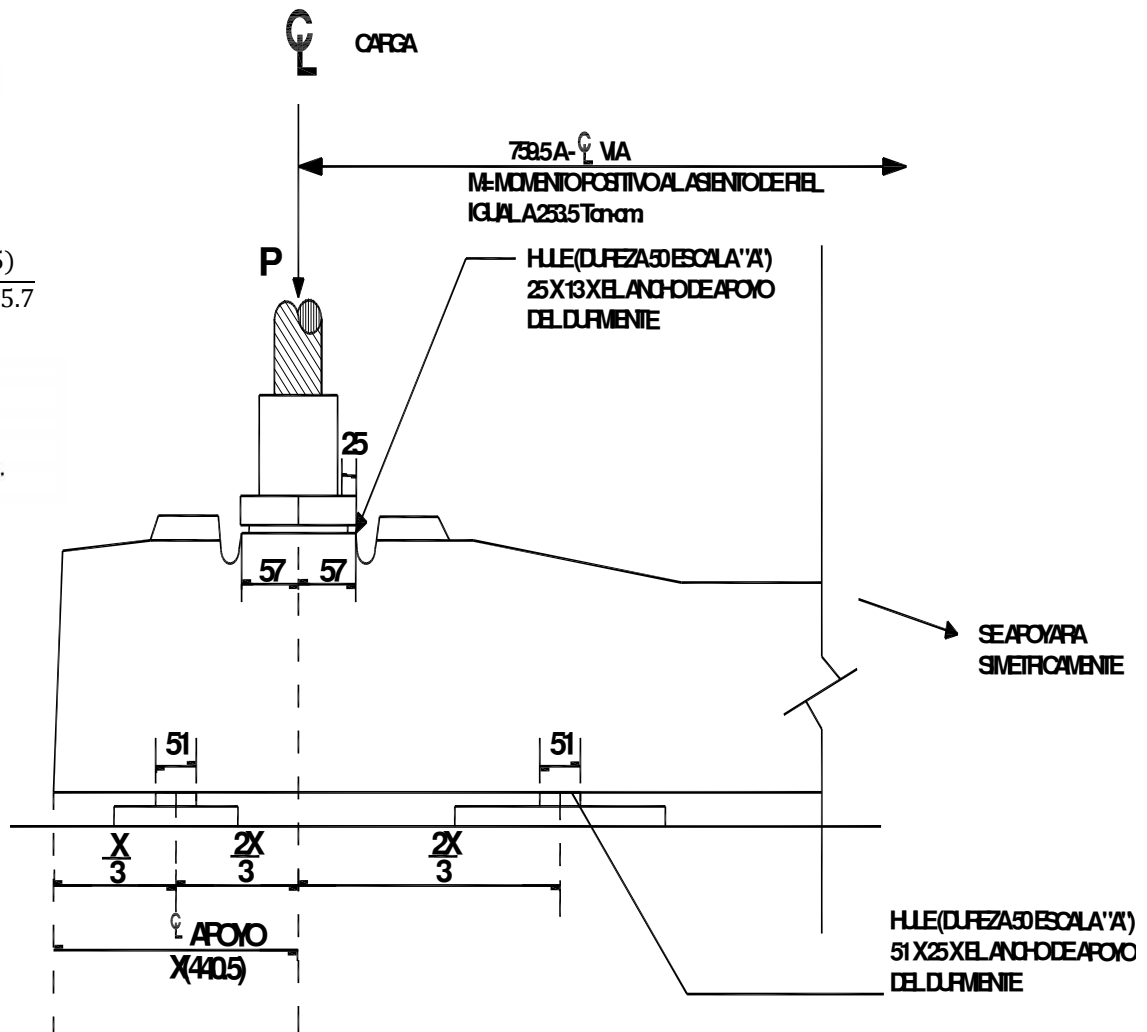


FIGURA 1

ANEXO No. 3.

PRUEBA DE MOMENTO FLEXIONANTE NEGATIVO SOBRE ASIENTO DE RIEL.

PRUEBA DE FLEXIÓN AL REVÉS.

LA SIGUIENTE FORMULA SE USARÁ PARA DETERMINAR EL VALOR DE P:

$$P = \frac{2M}{\left(\frac{2x}{3} - 7.6\right)}$$

$$P = \frac{2(132.5)}{29.366 - 7.6}$$

$$P = \frac{265}{21.766}$$

$$P = 12.17 \text{ Ton.}$$

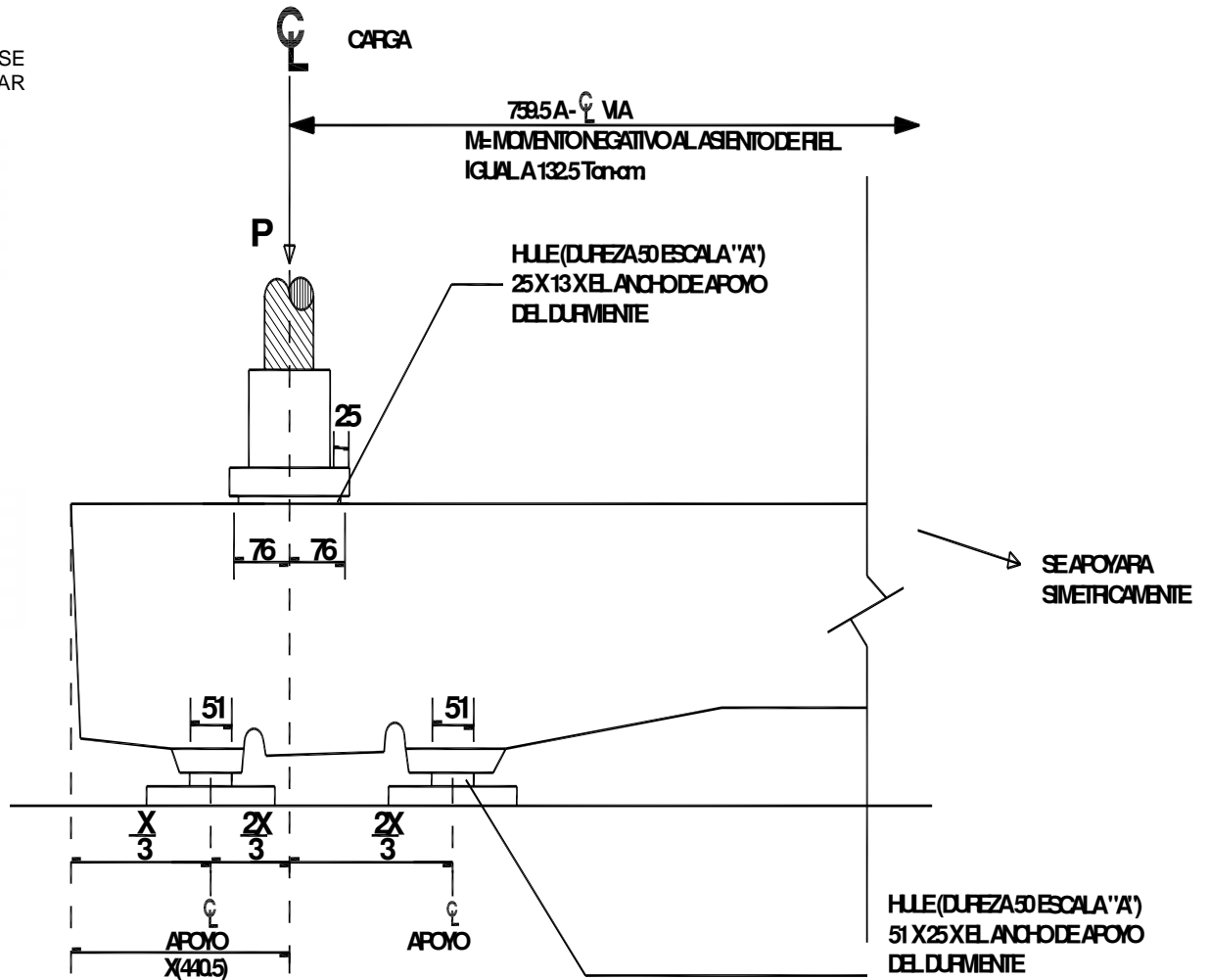
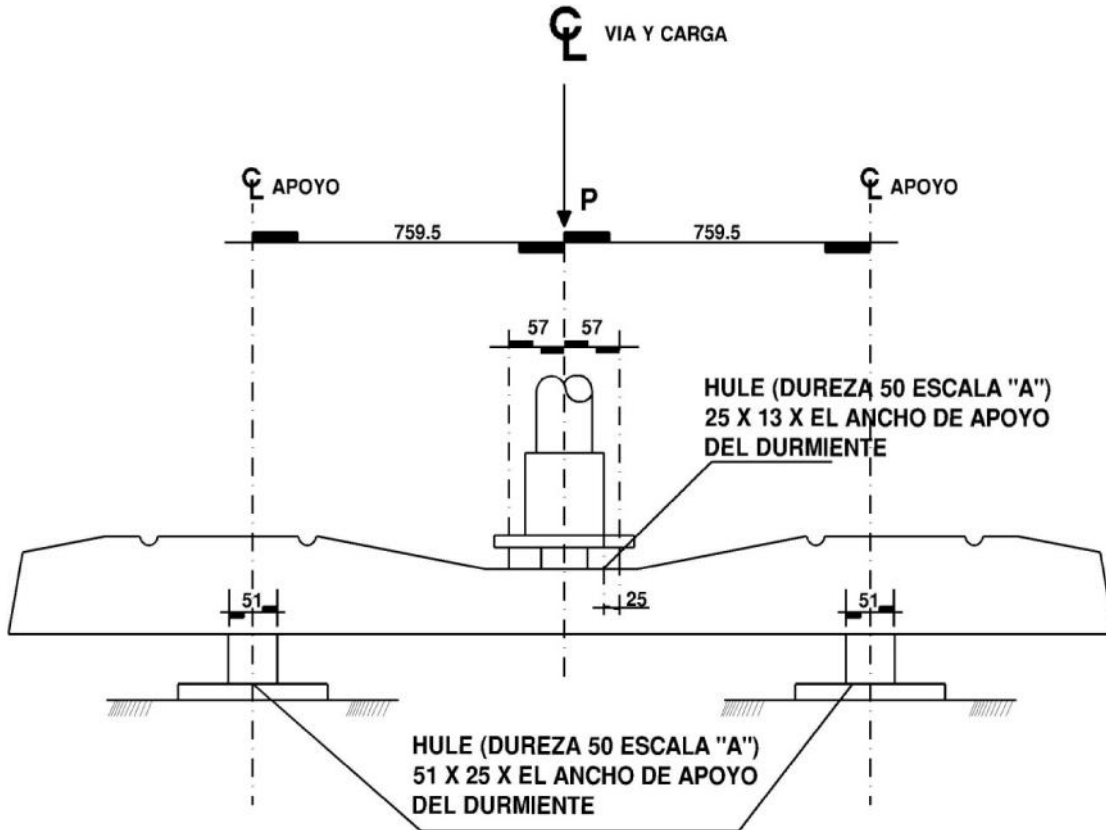


FIGURA 2.

ANEXO No. 3.
PRUEBA DE MOMENTO FLEXIONANTE POSITIVO AL CENTRO DEL DURMIENTE.



S/E
Acot. mm.

FIGURA 3

LA SIGUIENTE FORMULA SE USARÁ PARA DETERMINAR EL VALOR DE P:

$$P = \frac{2M}{70.25} \quad P = \frac{2(103.7)}{70.25} = 2.95 \text{ Ton.}$$

M = MOMENTO POSITIVO AL CENTRO DEL DURMIENTE IGUAL A 103.7 Ton. - cm.

ANEXO No. 3.

PRUEBA DE MOMENTO FLEXIONANTE NEGATIVO AL CENTRO DEL DURMIENTE.

LA SIGUIENTE FORMULA SE USARÁ PARA DETERMINAR EL VALOR DE P:

$$P = \frac{2 M}{68.35} \text{ Ton.}$$

M= MOMENTO NEGATIVO AL CENTRO DEL DURMIENTE IGUAL A: 253.5 Ton. - cm.

CARGA A APLICAR PARA DURMIENTES DE ANCHO CONSTANTE

$$P = \frac{2 (253.5)}{68.35} = 7.42 \text{ Ton.}$$

CARGA A APLICAR PARA DURMIENTES DE ANCHO VARIABLE

$$P = \frac{2 (228.15)}{68.35} = 6.68 \text{ Ton.}$$

(PARA DURMIENTES CON ANCHO VARIABLE EN LA SUPERFICIE DE APOYO CON REDUCCIÓN HACIA EL CENTRO).

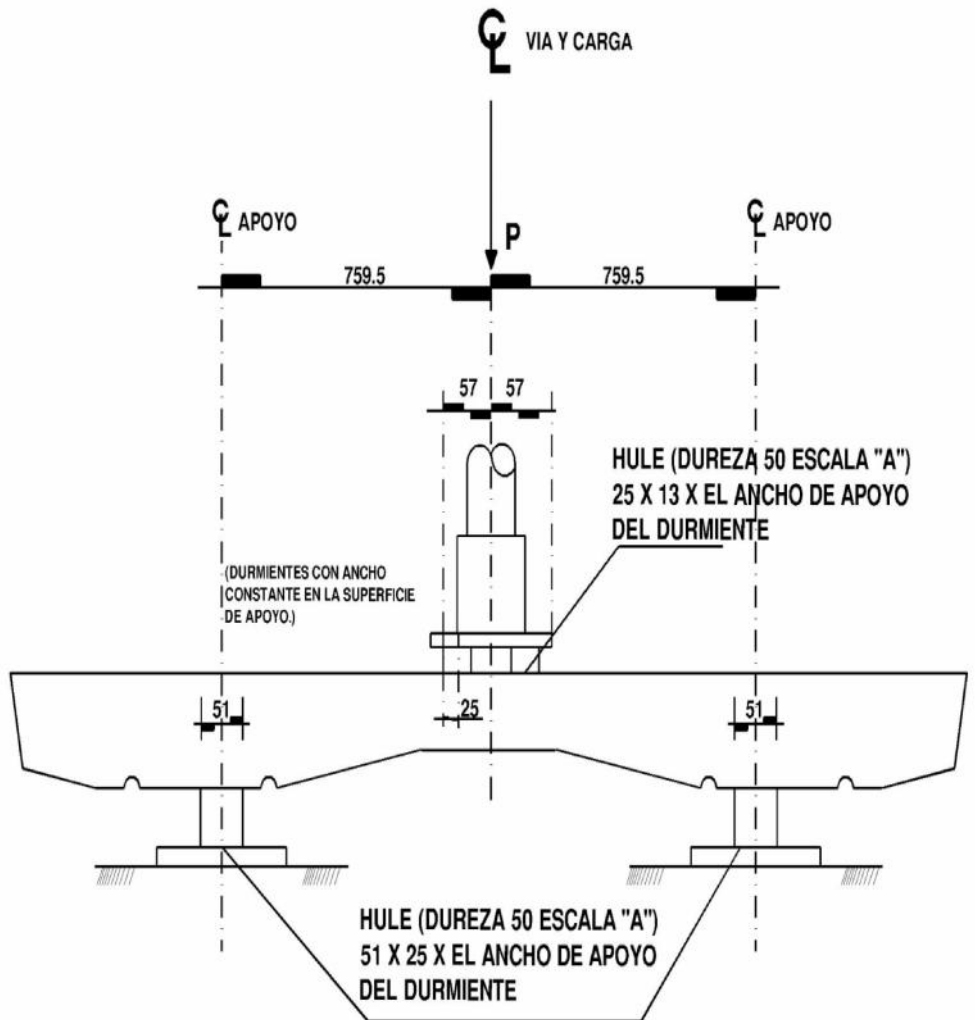


FIGURA 4

ACOT. mm
S/E.

ANEXO No. 3

PRUEBA DE TRACCIÓN PARA FUNDA AISLANTE GS CON GUARNICIÓN HELICOIDAL.

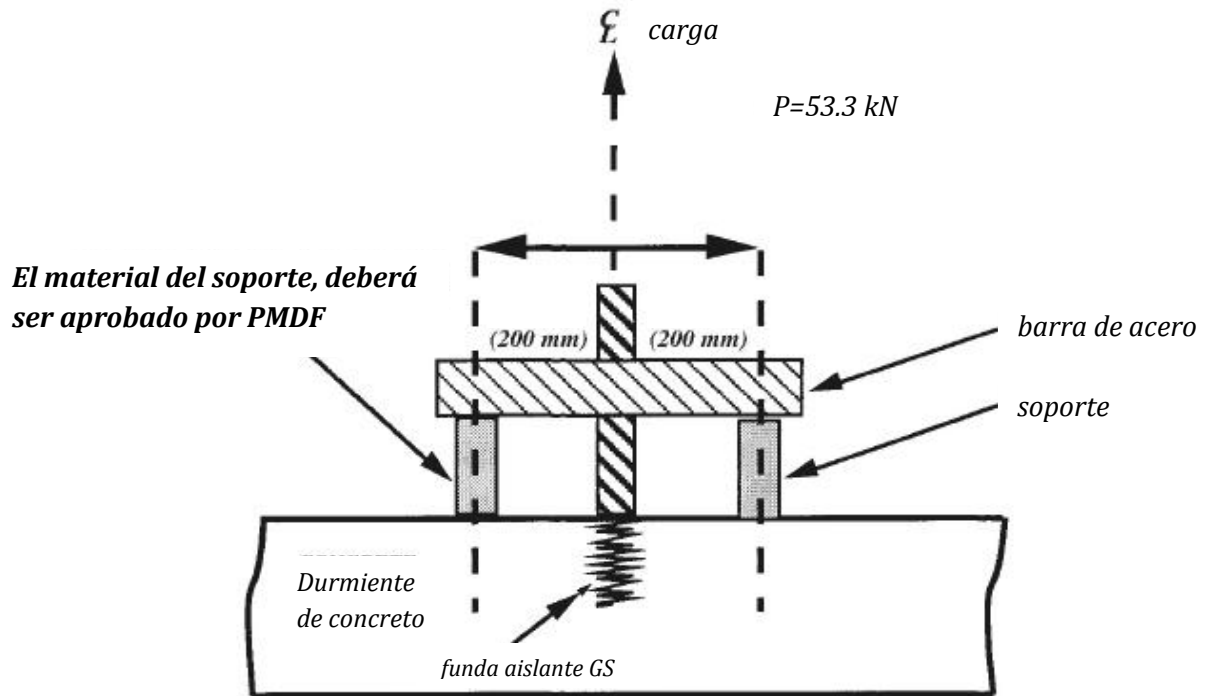
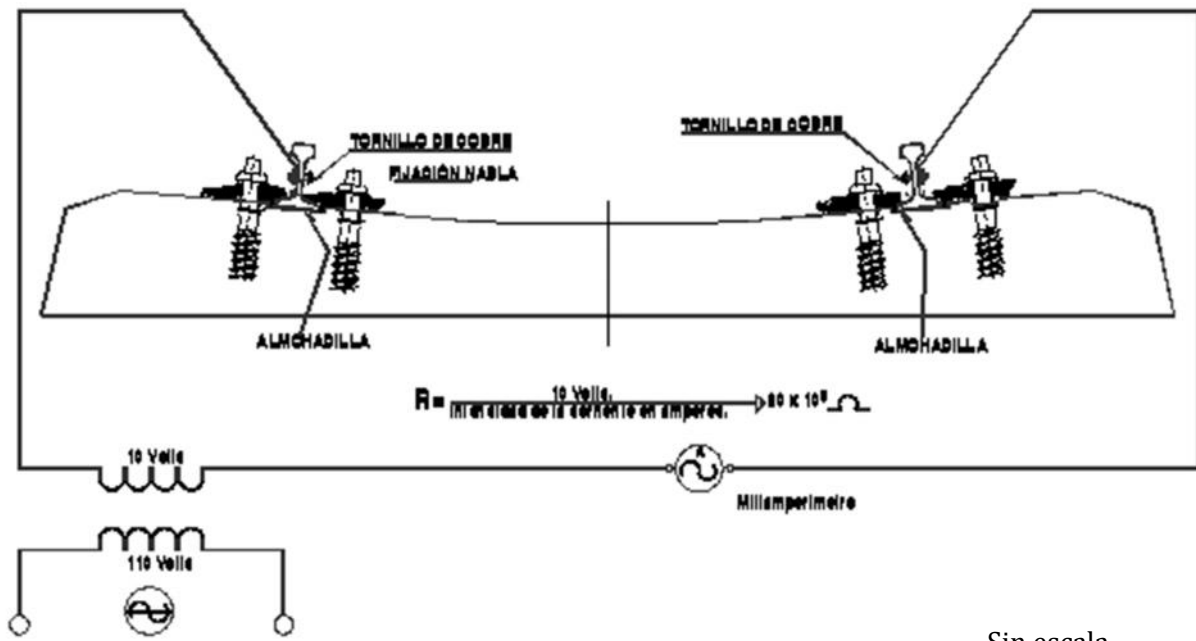


FIGURA No. 5

S/E.
Acot. mm

ANEXO No. 3
PRUEBA DE RESISTENCIA ELÉCTRICA



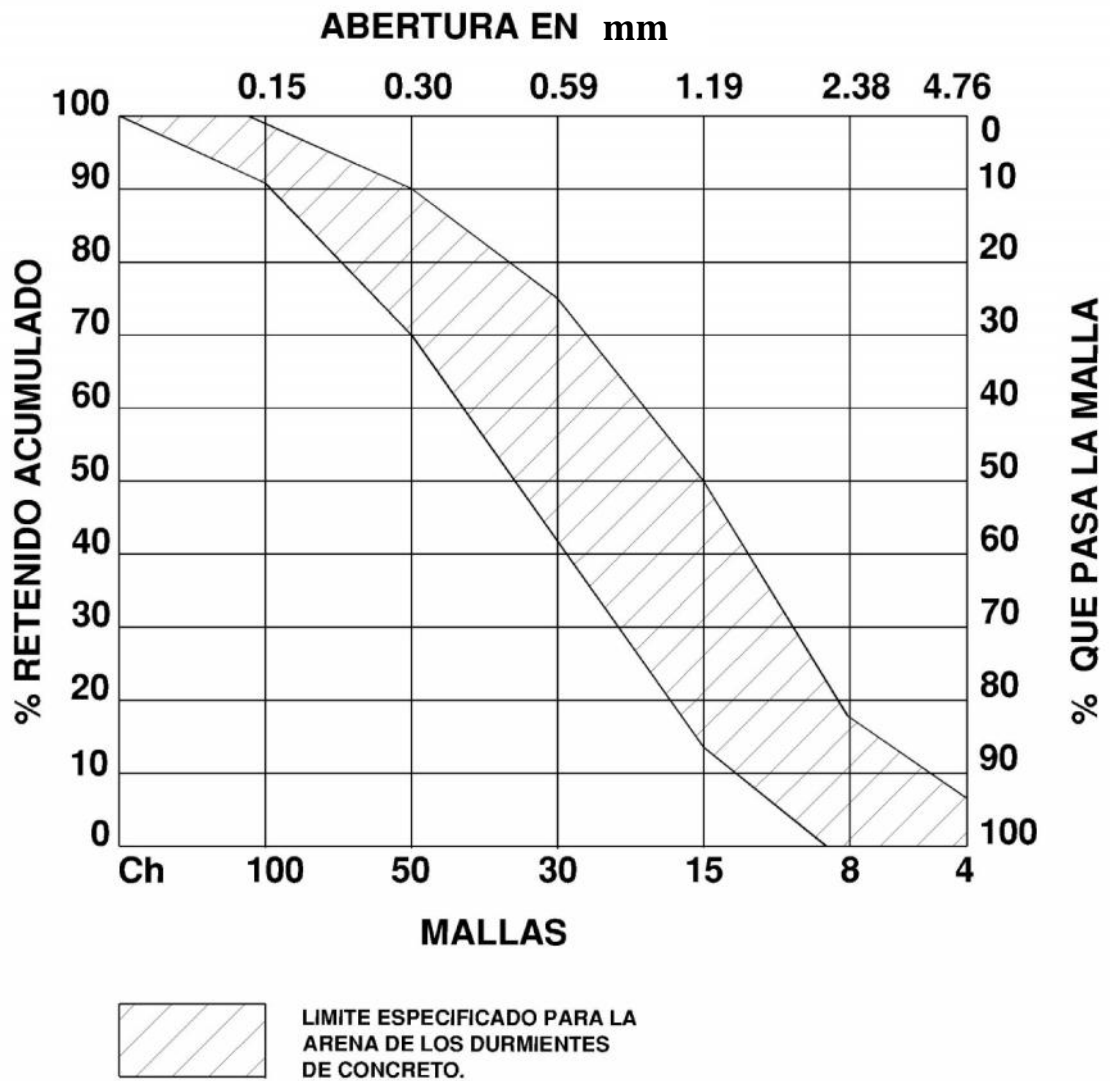
Sin escala

FIGURA 6

NOTA: EN LA PRUEBA DEBEN INCLUIRSE TODOS LOS ELEMENTOS DE FIJACIÓN DEL RIEL CON EL DURMIENTE.

ANEXO No. 4.

GRAFICA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA

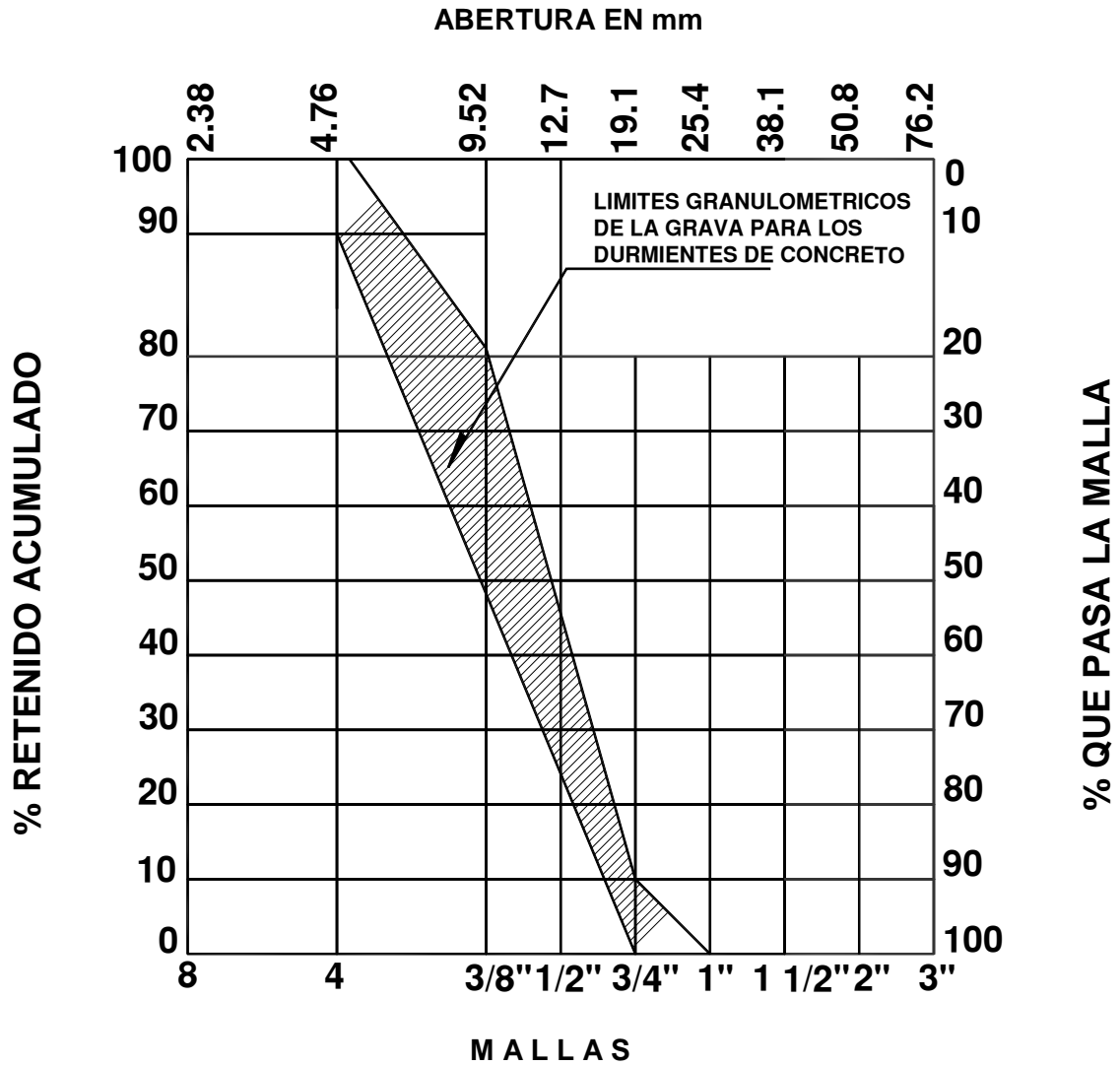


CONTROL DE CALIDAD DE ARENA.

FIGURA 1

ANEXO No. 4

GRÁFICA GRANULOMÉTRICA DE LA GRAVA.

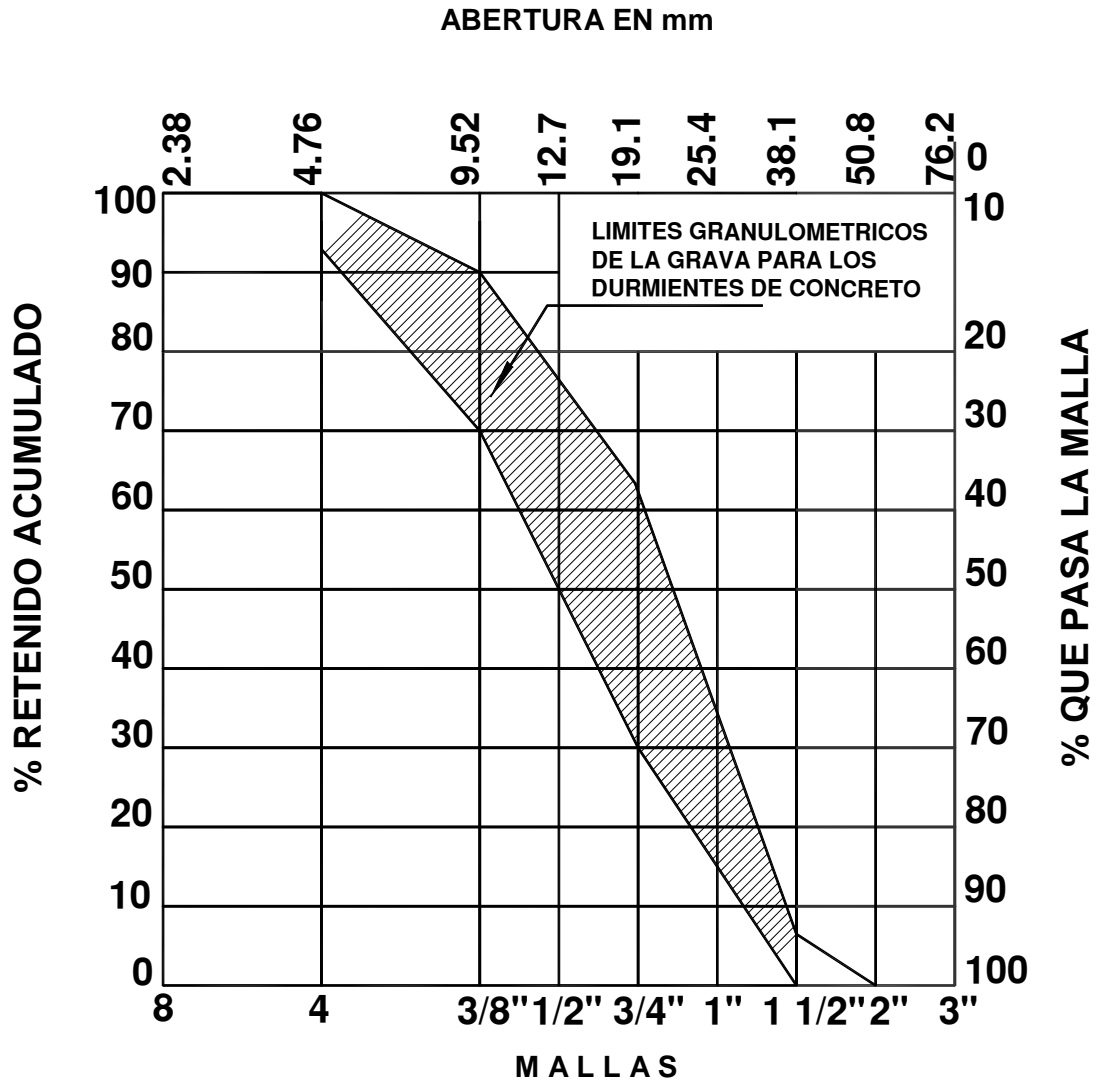


CONTROL DE CALIDAD DE GRAVA.

FIGURA 2

ANEXO No. 4

GRÁFICA GRANULOMÉTRICA DE LA GRAVA.



CONTROL DE CALIDAD DE GRAVA.

FIGURA 3

ANEXO No. 5

TABLA DE PRUEBAS Y FRECUENCIA DE EJECUCIÓN PARA EL CONTROL DE PRODUCCIÓN DE DURMIENTES MONOBLOQUE.

MATERIALES	PROPIEDADES A DETERMINAR	FRECUENCIA
1) ACERO DE PRESFUERZOS.	FÍSICAS	3 PRUEBAS POR CADA 10 ton O FRACCIÓN.
2) CEMENTO.	FÍSICAS Y QUÍMICAS.	1 PRUEBA DE LA 1ª. ENTREGA Y 1 POR MES POSTERIORMENTE.
3) AGUA.	QUÍMICAS.	1 DIARIO AL INICIO DE LA PRODUCCIÓN Y 1 AL MES PARA CADA FUENTE DE ABASTECIMIENTO.
4) AGREGADOS.	FÍSICAS.	1 PRUEBA COMPLETA POR SEMANA Y POR BANCO.
5) CONCRETO.	RESISTENCIAS: F'C	F'C: POR CADA 40 m3 O FRACCIÓN DE CONCRETO COLADO.
6) CONCRETO.	TENSIÓN POR FLEXIÓN.	UNA PRUEBA POR CADA 200 DURMIENTES O FRACCIÓN.
7) VERIFICACIÓN DEL ASPECTO EXTERIOR.	ASPECTO FÍSICO.	DIARIO EN TODOS LOS DURMIENTES PRODUCIDOS.
8) PRUEBAS DE CARGA NO DESTRUCTIVA EN LOS DURMIENTES (INDICADAS EN LOS INCISOS): IV.5.1., IV.5.2., IV.5.3., IV.5.4.	CAPACIDAD DE TRABAJO.	1 POR CADA LOTE DE 200 Ó FRACCIÓN DE UNA JORNADA.
9) PRUEBA DE CARGA ÚLTIMA EN EL ASIENTO DEL RIEL (INDICADA EN EL INCISO IV.5.6.)	CAPACIDAD A LA FALLA.	1 DE CADA 1000.
10) PRUEBA DE CARGA DESTRUCTIVA	FALLA TOTAL	1 SOLO DURMIENTE DE TODO EL PEDIDO
11) PRUEBA DE TRACCIÓN EN FUNDA AISLANTE GS (INDICADA EN EL INCISO IV.5.7)	TRACCIÓN.	10 DE CADA 600 FUNDAS AISLANTES GS COLOCADAS O FRACCIÓN.
12) PRUEBA DE ARRANCAMIENTO DE LA ALMOHADILLA DE HULE ACANALADO.	ASPECTO FÍSICO.	A JUICIO DEL INSPECTOR DE PMDF.
13) VERIFICACIÓN GEOMÉTRICA	DIMENSIONES	A CRITERIO DEL RECEPCIONISTA EN PLANTA DE UNA PRODUCCION SEMANAL

NOTA: Todos los elementos que constituyan el sistema de fijación “NABLA”, deberá cumplir con las especificaciones técnicas que se indican en el inciso II.7 de la presente especificación funcional.

ANEXO No. 6

NOTAS: PRUEBA DE CARGA ÚLTIMA EN EL ASIENTO DEL RIEL.

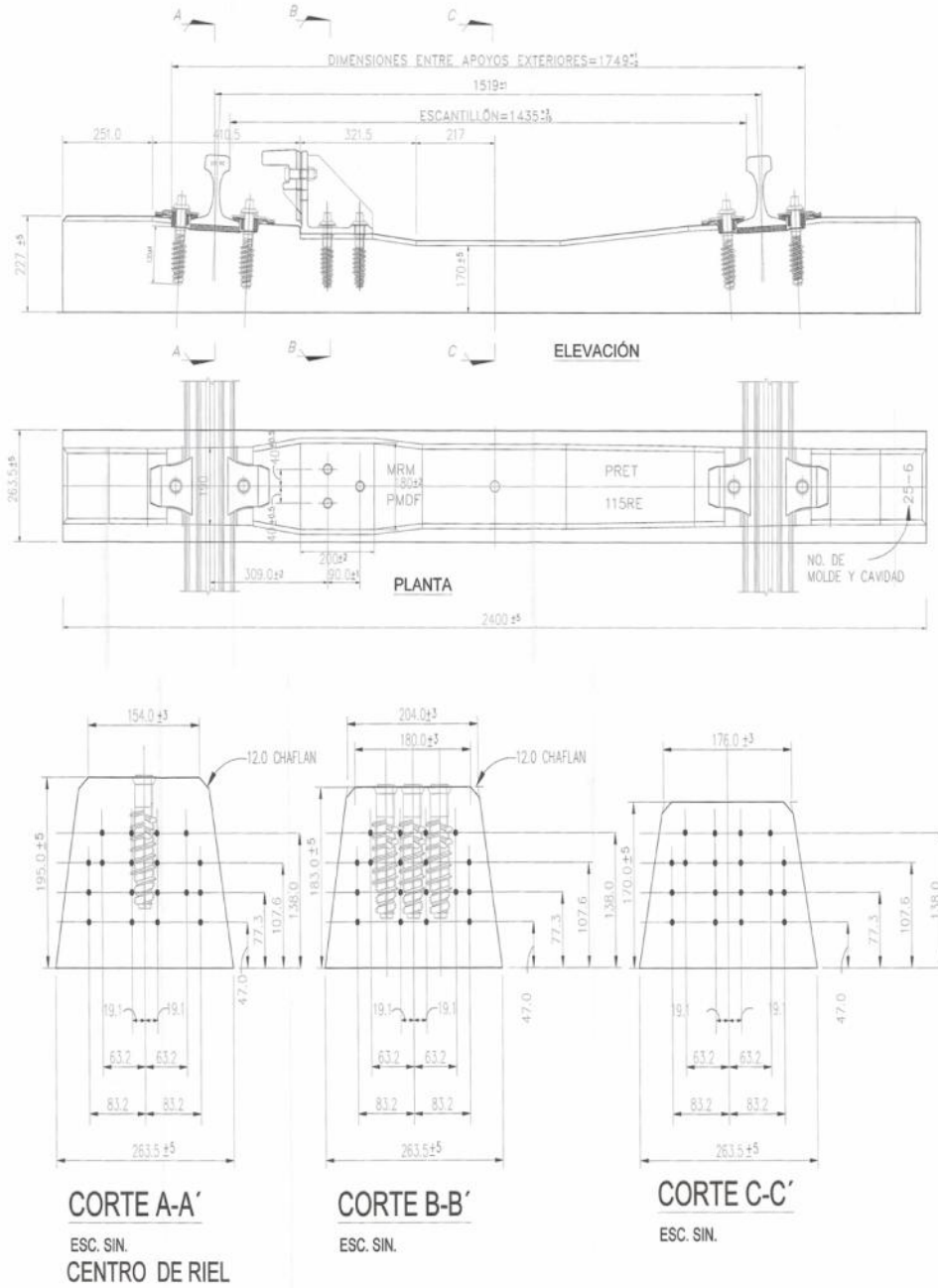
La prueba de carga destructiva (hasta la falla total del durmiente) se aplicará a 1 durmiente de todo el pedido.

La prueba de carga última 1.5 P, se aplicará a 1 durmiente de cada 1,000.

- a) Dicha carga se incrementará a solicitud del representante de PMDF hasta (para efectos de estudio del comportamiento de los durmientes) sin que estos fallen. Si el durmiente resiste la carga por un período no inferior a 5 minutos, la prueba será satisfactoria.
- b) Con respecto a lo indicado en el anexo No. 2, incisos 2 y 3, donde trata a cerca de la verificación de las distancias entre los topes extremos del durmiente y entre los topes de una fijación respectivamente; en caso de que dichos topes no existieran en los durmientes, el fabricante estará obligado a proporcionar los escantillones necesarios, verificados y autorizados para realizar las mediciones de las distancias entre las cubetas exteriores de los extremos del durmiente y entre las cubetas de un fijación con tolerancias de ± 1.0 mm y ± 0.5 mm respectivamente.

ANEXO No. 7

**DURMIENTE DE CONCRETO TIPO MONOBLOQUE PARA RIEL 115 R.E.
FIJACIÓN DEL CONTRA - RIEL 33C-1 ANCLADA Y CON BRIDAS**



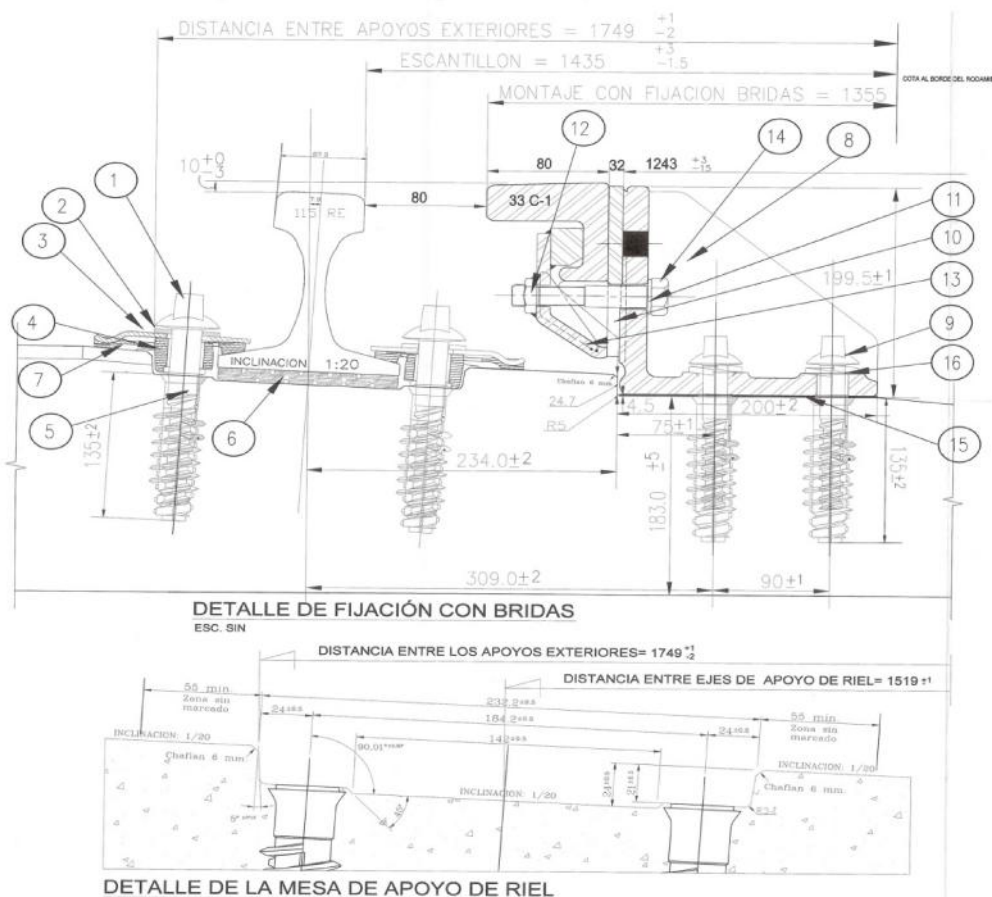
ANEXO No. 7

DURMIENTE DE CONCRETO TIPO MONOBLOQUE PARA RIEL 115 R.E. FIJACIÓN DEL CONTRA - RIEL 33C-1 ANCLADA Y CON BRIDAS

LISTA DE PARTES FIJACIÓN CON BRIDAS

REF.	CANT.	DESCRIPCIÓN	LISTA DE PARTES POR ENSAMBLE DE FIJACIÓN NABLA		
			POSICIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
8	1	SOPORTE DEL CONTRARIEL	1	1	SOPORTE DEL CONTRARIEL
9	3	TIRAFONDO GS TIPO B7	2	3	TIRAFONDO GS TIPO B7
10	1	CALZA DE AJUSTE DE ESPESOR VARIABLE	3	1	CALZA DE AJUSTE DE ESPESOR VARIABLE
11	1	ARANDELA WL 20	4	1	ARANDELA WL 20
12	1	TUERCA HM-M20	5	1	TUERCA HM-M20
13	1	BRIDA	6	1	BRIDA
14	1	TORNILLO HM12-160/60	7	1	TORNILLO HM12-160/60
15	1	ALMOHADILLA DE CAUCHO LISA DE 4.5 MM.	8	1	ALMOHADILLA DE CAUCHO LISA DE 4.5 MM.
16	3	ARANDELA WL 24	9	3	ARANDELA WL 24

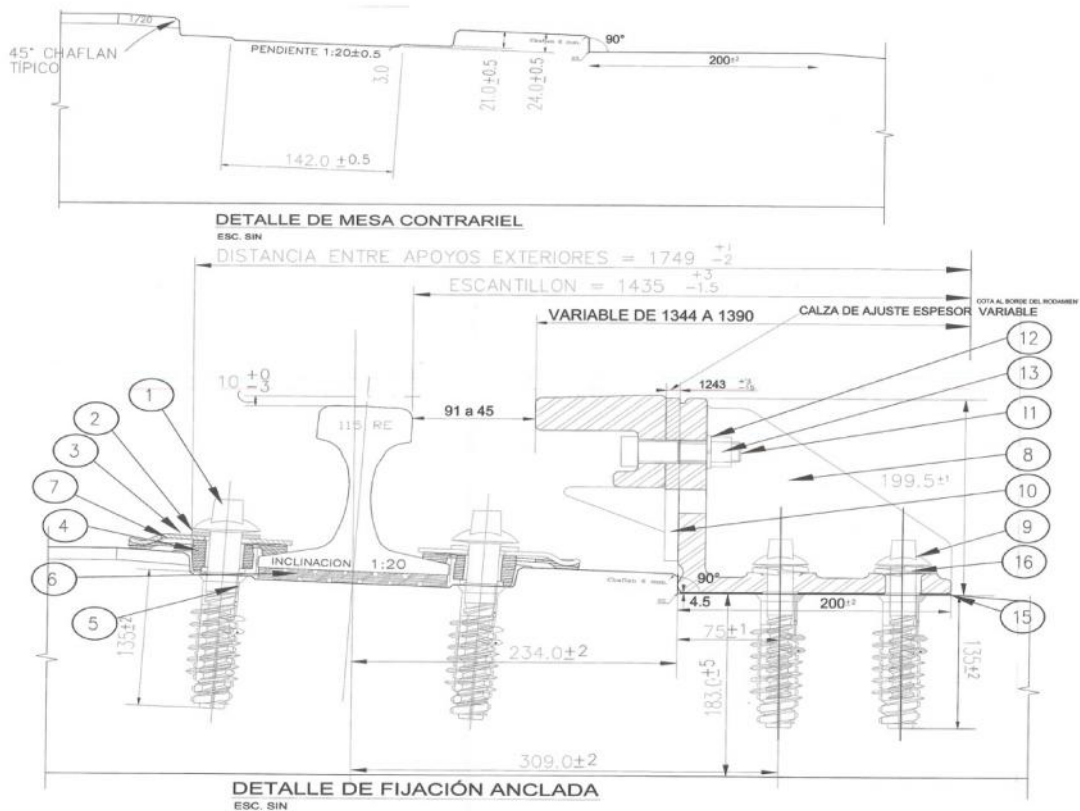
Momentos del durmiente				
Descripción	M(+) Asiento del riel	M(-) Asiento del riel	M(+) centro de durmiente	M(-) centro de durmiente
Durmiente MRM	253.5 t-cm	132.5 t-cm	103.7 t-cm	253.5 t-cm



ANEXO No. 7

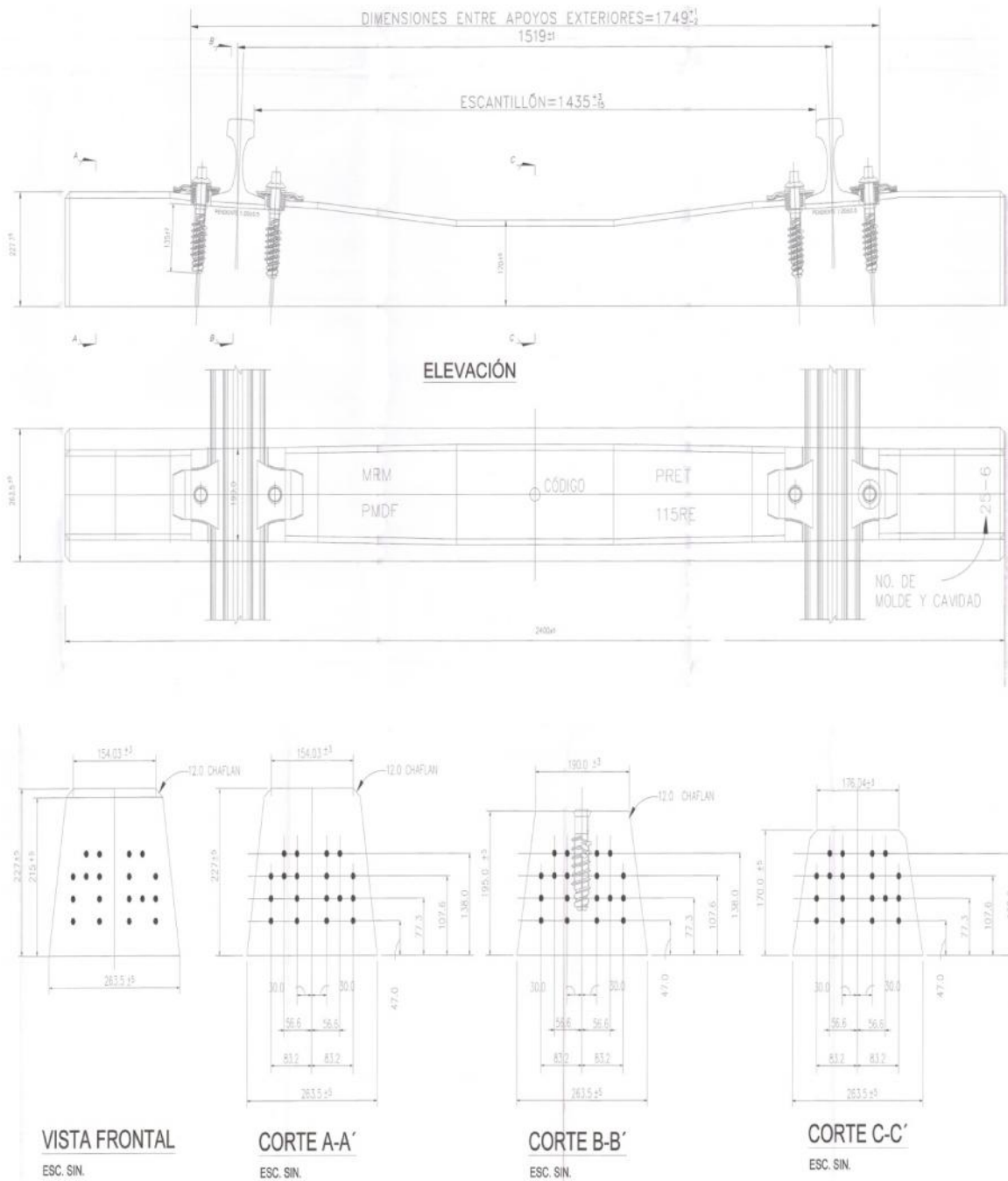
DURMIENTE DE CONCRETO TIPO MONOBLOQUE PARA RIEL 115 R.E.
 FIJACIÓN DEL CONTRA - RIEL 33C-1 ANCLADA Y CON BRIDAS
 LISTA DE PARTES CON FIJACIÓN ANCLADA

REF.	CANT.	DESCRIPCION
8	1	SOPORTE DEL CONTRARIEL
9	3	TIRAFONDO GS TIPO B7
10	1	CALZA DE AJUSTE DE ESPESOR VARIABLE
11	1	TORNILLO QM20 75/46 Y 120/46
12	1	ARANDELA WL 20
13	1	TUERCA HLM20
15	1	ALMOHADILLA DE CAUCHO LISA DE 4.5 MM.
16	3	ARANDELA WL 24



ANEXO No. 8

DURMIENTE CONVENCIONAL DE CONCRETO TIPO MONOBLOQUE PARA RIEL 115 R.E.



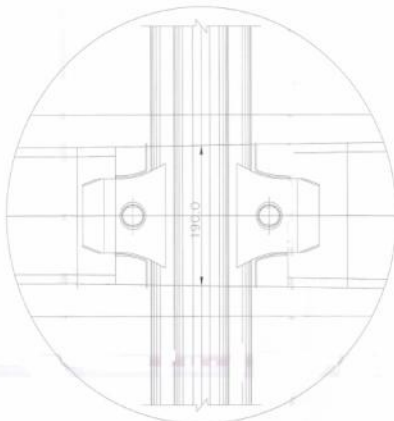
ANEXO No. 8

DURMIENTE DE CONCRETO CONVENCIONAL TIPO MONOBLOQUE PARA RIEL 115 R.E.

Momentos del durmiente				
Descripción	M(+) Asiento del riel	M(-) Asiento del riel	M(+) centro de durmiente	M(-) centro de durmiente
Durmiente MRM	253.5 t-cm	132.5 t-cm	103.7 t-cm	228.15 t-cm

LISTA DE PARTES FIJACION TIPO NABLA

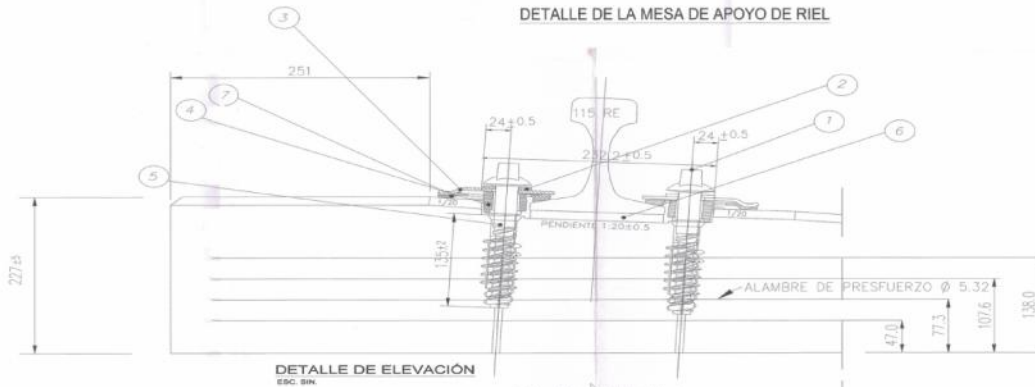
POSICIÓN	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
①	4	TIRAFONDO GS TIPO B7
②	4	ARANDELA PLANA
③	4	GRAPA NABLA (γ)
④	4	TOPE NABLA 31 N°8
⑤	4	FUNDA AISLANTE GS CON GUARNICION HELICOIDAL
⑥	2	ALMOHADILLA DE CAUCHO ACANALADA
⑦	4	AISLADOR NABLA 30 TIPO C+0



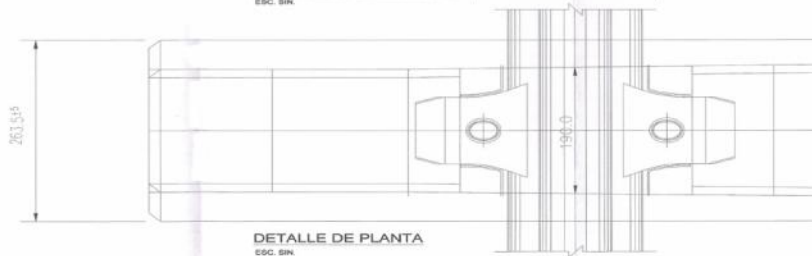
DETALLE DE FIJACIÓN
ESC. 5/8



DETALLE DE LA MESA DE APOYO DE RIEL



DETALLE DE ELEVACIÓN
ESC. 5/8



DETALLE DE PLANTA
ESC. 5/8