

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CONSTRUCCIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



TRABAJO DE DIPLOMA

Aplicación del bioproducto CBQ-VTC en las traviesas de
hormigón pretensado.

Autora: Eilys Valdés Alemán

Tutores: Ing. Robelio Ramos Méndez

Dra. Yelenys Alvarado Capó

Consultante: Dr. Yosvanis Díaz

Santa Clara

2013

“Siempre creí que las profundas transformaciones, tanto del ser humano como de la sociedad, ocurren en un período de tiempo muy reducido.....En esos momentos, no sirve fingir que nada sucede tampoco disculparnos diciendo que no estamos listos para el cambio”

Paulo Coelho

A Teté, por ver en mí el sueño que ella no pudo realizar.

Agradecimientos

A mi mamá, por no salirse nunca de la meta y estar presente en cada una de las facetas de mi vida dándome apoyo.

A mi papá, por nunca haberme dicho que no a nada y ser la cara feliz al final del día negro.

A Teté, por estar siempre para mí y posponer su vida para ayudarme a formar la mía.

A mi tía Iraida, por haber estado siempre pendiente de mí y alentarme tantas veces a seguir mis sueños.

A mis tíos Omar y Orte y mis primos Duniel, Dorgis y Mileidys por su apoyo incondicional.

A Mari, Orlan, Javi y Brayan por haberse convertido en parte muy importante de mi familia y sobre todo en estos últimos tiempos tan estresantes estar al pendiente.

A Dayron y Ever por ser los hermanos que la vida no me dio.

Especialmente a mis tutores Robelio y Yelenys por su atención y dedicación, y porque se convirtieron en más que profesores, amigos.

A Yosvanys por su atención incondicional

A Mailié, por ser mi amiga, consejera y pañuelo de lágrimas por tantos años

A las tantas amistades que en su momento formaron parte importante de mi vida y aportaron mucho a mis estudios: Carlos, Ivis, Amarilys etc.

A las amigas que nunca se van Mari, Laura, Patricia, Jesica, Ana y Meli

A los amigos que me han acompañado en este sueño durante tantas madrugadas de estudio y fiestas y en mis peores momentos siempre han sacado un chiste para dejarme saber que están ahí para mí. Gilberto, Tato, Gisse, Mara y Kiki.

A Vivi, Yoana, Liset, Lisabeth, Dayana, Inés por tantas veces que dejaron de hacer su cosas por ayudarme con las mías.

A Frank por su ayuda en los últimos días.

Muy especialmente a Maykel, que en el último año se ha convertido en mi camaroncito duro y a pesar de todo, ha trabajado por mis metas tanto como yo estando pendiente de mí a todo momento y dándome tanto amor y apoyo,

A todos los que han tenido que ver de una forma u otra con mi vida estudiantil muchas, muchas gracias.

Actualmente el uso de aditivos tiene una marcada relevancia en la producción de hormigones, existiendo una gran variedad de clasificaciones para estas sustancias. Los aditivos de origen biológico han comenzado a recibir mayor atención en los últimos años dado la relevancia del tema y los considerables aportes que ofrecen a la industria de la construcción.

Como parte de estos estudios se presenta el siguiente trabajo investigativo que tiene como objetivo general determinar el potencial de aplicación del bioproducto CBQ-VTC como aditivo plastificante en la fabricación de traviesas de hormigón pretensado, en el mismo se desarrollaron una serie de ensayos al hormigón en estado fresco y endurecido a nivel de laboratorio y producción, utilizando diferentes proporciones del CBQ-VTC y otros aditivos comerciales (SX 32, N 200, SPC 345) además de un patrón sin aditivo utilizado a nivel de laboratorio. Al hormigón en estado fresco se le determinó la consistencia a través del consistómetro Skramptaev (disponible en el laboratorio de la empresa) que es una variante del consistómetro VeBe. En estado endurecido se le midió la resistencia a la compresión a las 24h, 7 días y 28 días a nivel de laboratorio y de producción en cada caso con los tratamientos correspondientes. También se realizaron ensayos de absorción para los hormigones del laboratorio y se obtuvieron datos de la inspección de aceptación realizada a las traviesas en la producción. Todos estos estudios permitieron concluir que el bioproducto CBQ-VTC, añadido como aditivo en la fabricación de hormigón, modifica sus propiedades reológicas en estado fresco que permiten alcanzar una consistencia seca con baja relación agua/cemento y posteriormente alta resistencia a la compresión en edades tempranas y tardías, además el hormigón elaborado a nivel de laboratorio con el aditivo CBQ-VTC cumple con las especificaciones técnicas para la fabricación de traviesas de hormigón pretensado, sin embargo se observan a escala productiva que las propiedades físico-mecánicas presentan variaciones entre los lotes. El empleo del aditivo CBQ-VTC a escala productiva en la fabricación de traviesas tiene potencial al obtener resultados similares al súper plastificante Dynamon SX 32, al tener un índice considerable de aceptación al volteo y resistencia a flexo-tracción que permite su uso en vías férreas principalmente de categoría II para la circulación de trenes a 100 km/h y carga de 21t.

Palabras claves: hormigón, bioproducto CBQ-VTC, consistencia, resistencia, inspección de aceptación.

Currently the use of additives has a strong relevance in the production of concrete, and there is a variety of classifications for these substances. The additives of biological origin have begun to receive increased attention in recent given the relevance of the issue and offering considerable contributions to the construction industry years.

As part of these studies the following research work has as its general objective to determine the potential application of bioproduct CBQ-VTC as a plasticizer additive in the manufacture of prestressed concrete sleepers, therein a series of tests to concrete were developed in presents fresh and hardened in the laboratory and production, using different proportions of CBQ-VTC and other commercial additives (SX 32, N 200, SPC 345) in addition to a pattern without additive used in the laboratory. The fresh concrete consistency it was determined through consistometer Skramptæev (available in the laboratory of the company) which is a variant of consistometer VeBe. Cured state it was measured the compressive strength at 24h, 7 days and 28 days in laboratory and production in each case with the corresponding treatments. absorption tests also relearn for concrete laboratory and inspection data acceptance made to sleepers in production were obtained. All these studies led to the conclusion that the bioproduct CBQ-VTC, added as an additive in the manufacture of concrete, modifies its rheological properties in the fresh state so as to achieve a dry consistency with low water / cement and subsequently high compressive strength at early ages and late addition concrete prepared at laboratory level with the additive CBQ-VTC meets techniques for making prestressed concrete sleepers specifications, however observed production scale the physic-mechanical properties have variations between batches. The use of the additive CBQ-VTC production scale in the manufacture of sleepers has the potential to achieve similar results to super plasticizer Dynamon SX 32, having a considerable acceptance rate to overturning and resistance to flexo-traction which allows its use in the process category II railway mainly for trains to 100 km / h and 21t load.

Keywords: concrete, bioproducto CBQ-VTC, consistency, strength, acceptance inspection.

Introducción	1
CAPÍTULO I: Fundamentos teóricos- metodológicos relacionados con los hormigones de alta resistencia en la producción de traviesas	1
1.1 Generalidades sobre el hormigón	1
1.1.1 Propiedades de hormigones en estado fresco y endurecido	2
1.1.2 Ensayos que se les realizan al hormigón en estado fresco y endurecido	4
1.1.3 Curado de hormigones.....	8
1.2 Hormigones de altas prestaciones (HAP).....	10
1.3 Aditivos empleados en la elaboración de HAP	12
1.4 Elementos prefabricados con HAP	14
1.5 Traviesas de hormigón	15
1.5.1 Producción de traviesas en Cuba	17
1.6 Aditivos de origen biotecnológico en Cuba.....	18
Conclusiones parciales del capítulo I	20
Capítulo II. Materiales y experimentación empleados para evaluar la influencia del bioproducto CBQ-VTC como aditivo de hormigón pretensado para la elaboración de traviesas	21
2.1 Materias primas utilizadas para la elaboración de hormigón.....	21
2.2 Caracterización de las materias primas utilizadas a partir de datos suministrados por la empresa	22
2.2.1 Árido grueso.....	22
2.2.2 Árido fino	22
2.2.3 Cemento P-35.....	23
2.2.4 Aditivos	24
2.2.4.1 Bioproducto CBQ-VTC.....	24
2.2.4.2 Dynamon SX-32.....	25

2.2.4.3 Mapefluid N-200.....	26
2.2.4.4 Dynamon SPC-345	27
2.2.5 Agua.....	27
2.3 Descripción del programa experimental y procedimientos	27
2.3.1 Declaración de las variables y parámetros de estado.....	28
2.3.2 Efecto del aditivo CBQ-VTC sobre las propiedades reológicas y físico mecánicas de hormigón a nivel de laboratorio.....	29
2.3.2.1 Dosificaciones	30
2.3.2.2 Series de ensayos.....	31
2.3.3 Evaluación del efecto del CBQ-VTC sobre el hormigón pretensado en la producción industrial de traviesas.....	32
2.3.3.1 Dosificaciones	33
2.3.4 Ensayos realizados	34
2.3.4.1 Ensayo de consistencia	34
2.3.4.2 Ensayo de resistencia a la compresión.....	37
2.3.4.3 Ensayo de absorción de agua.....	38
2.3.4.4 Inspección visual.....	39
2.3.4.5 Ensayo a flexo-tracción de la traviesa.....	39
2.4 Análisis de los datos	41
Conclusiones parciales del Capítulo II	41
Capítulo III. Análisis de los resultados de la influencia del bioproducto CBQ-VTC como aditivo de hormigón pretensado para la elaboración de traviesas.....	42
3.1 Efecto del aditivo CBQ-VTC sobre las propiedades reológicas y físico mecánicas de hormigón a nivel de laboratorio	42
3.1.1 Ensayo de consistencia	42
3.1.2 Ensayo de resistencia a la compresión.....	43

3.1.3 Ensayo de Absorción	44
3.2 Evaluación del efecto del CBQ-VTC sobre el hormigón pretensado en la producción de traviesas	45
3.2.1 Probetas.....	46
3.2.1.1 Ensayo de consistencia	46
3.2.1.2 Ensayo de resistencia a la compresión.....	47
3.2.2 Traviesas	49
3.2.2.1 Inspección visual y aceptación o rechazo en volteo.....	50
3.2.2.2 Ensayo de Flexo Tracción de la Traviesa	52
Conclusiones parciales del capítulo III	54
Conclusiones Generales	55
Recomendaciones	56
Referencias.....	57
Anexos	61

Introducción

El hormigón es el material de construcción más utilizado a nivel mundial. Su producción alcanzó cerca de 10 000 millones de toneladas por año en los últimos 40 años (Pacheco-Torgal et al., 2013).

El uso de aditivos se ha convertido en una práctica imprescindible en la producción de hormigón donde cerca del 15% del total contiene aditivos químicos que modifican sus propiedades. Entre ellos se encuentran los lignosulfonatos que fueron los primeros biopolímeros funcionales empleados en la construcción a gran escala (Plank, 2014).

Los aditivos de origen biotecnológico fabricados en procesos de fermentación microbiana ya sean a partir de cultivos puros o cultivos mixtos (Ghosh et al., 2003, Achal et al., 2012, Martirena et al., 2014, Pei et al., 2015) han comenzado a recibir mayor atención. No obstante que, (Stabnikov et al., 2015) refirieron el surgimiento de una nueva área de investigación nombrada Biotecnología de la construcción (*Construction Biotechnology*) con dos direcciones principales: producción microbiana de materiales de la construcción y la aplicación de los microorganismos o sus enzimas, todavía las investigaciones al respecto son escasas (Pacheco-Torgal et al., 2013).

Para la fabricación de hormigones de alta resistencia y elevada durabilidad (hormigones de altas prestaciones) se requiere del uso de aditivos superplastificantes que permitan mantener la trabajabilidad de las mezclas con baja relación agua/cemento (BASF, 2009). Entre las aplicaciones de estos hormigones se encuentran diferentes elementos prefabricados donde se incluyen las traviesas para vías férreas.

En Cuba, se fabrican traviesas de hormigón pretensado de alta resistencia que son elaboradas con cemento Portland, áridos calizos cubanos, finos y gruesos y aditivos superplastificantes y tienen como destino la construcción de líneas de ferrocarril. Entre los años 1975-1976 el Centro Técnico de la Construcción y los Materiales (actual Centro Técnico para el Desarrollo de Materiales de la Construcción) diseñó una tecnología conocida como Cuba 71 con la cual se logró la introducción y generalización de la producción y colocación de más de 1,5 millones de traviesas en las vías principales del ferrocarril central. Estas han cumplido satisfactoriamente

con los requisitos de resistencia estructural establecidas para vías principales de 25 toneladas de carga y velocidad superior a los 100 km/hora por más de 35 años. La recuperación en la región central del país de la capacidad de producción de más de 110 mil traviesas anuales con esta tecnología, ha contribuido a la sustitución de importaciones y al desarrollo de los planes de construcción de vías férreas programados por el Ministerio del Transporte (CTDMC, 2008, Gayoso et al., 2014).

Los antecedentes de la fabricación de hormigón en Cuba con aditivos biológicos elaborados mediante procesos de fermentación microbiana y con propiedades plastificantes (Gómez, 2010, Peña, 2013, Martirena et al., 2014, Martirena et al., 2016) han demostrado que esta puede convertirse en una alternativa viable para sustituir aditivos químicos. Como valor adicional se ha corroborado la capacidad de estos aditivos de tener más de un efecto sobre las mezclas de cemento.

El trabajo desarrollado por (Gómez, 2015) abrió la posibilidad del uso de estos productos biotecnológicos en hormigones de consistencia seca y alta resistencia en la producción de traviesas de hormigón pretensado. Específicamente, este autor empleó el aditivo MEF 32 producido por el Instituto Finlay que posee propiedades plastificantes y de retardador del fraguado.

La creación de capacidades productivas en el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ) de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas para la producción de bioproductos a base de microorganismos eficientes posibilitó el desarrollo de un nuevo producto con propiedades plastificantes y características mejoradas con respecto al MEF 32 que se nombró CBQ-VTC. Machado (2015) demostró el efecto de este nuevo aditivo sobre las propiedades reológicas de pastas. Sin embargo, se requieren otros estudios para determinar su posible aplicabilidad en la fabricación de hormigones con diferentes prestaciones.

Atendiendo a lo anterior se definió como **problema científico**: ¿Es posible fabricar traviesas de hormigón pretensado con el uso del bioproducto CBQ-VTC como aditivo plastificante?

El trabajo se desarrolló a partir de la siguiente **hipótesis**:

Con el empleo del bioproducto CBQ-VTC para elaborar hormigones de consistencia seca tanto a nivel de laboratorio como productivo se podría demostrar que modifica sus propiedades reológicas y físico- mecánicas y cual posee potencial de aplicación para la producción de traviesas para ferrocarril.

Como objetivo general:

- Determinar el potencial de aplicación del bioproducto CBQ-VTC como aditivo plastificante en la fabricación de traviesas de hormigón pretensado.

Objetivos específicos:

1. Examinar los antecedentes teóricos, que fundamentan el empleo potencial del bioproducto CBQ-VTC y su aporte en las propiedades reológicas y físico-mecánicas del hormigón.
2. Determinar el efecto del CBQ-VTC sobre las propiedades reológicas y físico mecánicas de hormigón elaborado a nivel de laboratorio.
3. Evaluar el efecto del CBQ-VTC sobre el hormigón pretensado en la producción de traviesas.

Tareas Científicas:

1. Investigación bibliográfica de la literatura científica publicada sobre hormigón, aditivos y su comportamiento en hormigones, la fabricación de traviesas y el uso de bioproductos en la construcción.
2. Determinación y caracterización de los materiales a utilizar en la elaboración de las mezclas de los ensayos.
3. Ejecución de ensayos para evaluar propiedades físico-mecánicas de las mezclas de hormigones en estado fresco y endurecido producidos en la fábrica de traviesas EIIF tanto a nivel de laboratorio como productivo.
4. Análisis y Procesamiento de los resultados del comportamiento físico - mecánico de los hormigones en estado fresco y endurecido.
5. Redacción y entrega de la tesis

6. Discusión de la tesis

Novedad científica y aportes del trabajo

- **Novedad científica**

Los resultados de este trabajo demostraron por primera vez que el bioproducto CBQ-VTC posee propiedades plastificantes/viscosificantes en la elaboración de hormigón de consistencia seca que puede ser empleado en la fabricación de traviesas para ferrocarril con vías de categoría I y II que soportan trenes con velocidad de 140 y 100 km/h y capacidad de carga por eje de 21 t, respectivamente.

- **Aporte Práctico:**

Aplicación del bioproducto CBQ-VTC en la fabricación de traviesas de hormigón pretensado con resultados comparables al superplastificante Dynamon SX32.

- **Aporte Económico:**

El empleo de este aditivo biológico en la fabricación de traviesas podría sustituir importaciones de aditivos químicos al país a partir de materias primas nacionales.

- **Aporte Medio Ambiental:**

El uso de subproductos de las industrias azucarera y láctea del país como materia prima para la fabricación del bioproducto CBQ-VTC contribuye a dar valor agregado a estas industrias y a disminuir su carga contaminante al ambiente a la vez que sustituye productos químicos.

Estructura de la tesis

El trabajo se presenta en una **estructura de tres capítulos:**

***Capítulo I. Revisión bibliográfica:** Referencia la situación actual del hormigón en el mundo y en Cuba; haciendo énfasis en los hormigones de consistencia seca. Se ofrece información sobre los aditivos plastificantes, su uso en Cuba y el mundo.*

***Capítulo II. Materiales y métodos:** Detalla las características de las materias primas utilizadas, así como los métodos y normativas utilizadas para la evaluación de las mezclas objeto de estudio.*

Capítulo III. Análisis y discusión de los resultados: Se expone los resultados obtenidos y su interpretación.

CAPÍTULO I: Fundamentos teóricos- metodológicos relacionados con los hormigones de alta resistencia en la producción de traviesas

1.1 Generalidades sobre el hormigón

El hormigón es una mezcla homogénea, compuesta por una pasta adhesiva de cemento Portland y agua que mantiene adheridas un conjunto de partículas de materiales generalmente inertes, denominados agregados. A estos componentes debe sumarse en todos los casos la presencia de un volumen variable ocupado por huecos o vacíos que contienen aire (Lucas, 2009). Para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones, existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, fibras, etc.

La importancia que ha adquirido el empleo de los aditivos en la elaboración del hormigón ha hecho que la normativa nacional e internacional, consideren a estos productos como uno de los componentes del hormigón (Bartos, 1993).

Según (Minetti, 2008) los agregados constituyen el elemento predominante del hormigón, ya sea desde el punto de vista volumétrico como en relación con el peso. A fin de asegurar la trabajabilidad del hormigón fresco como así también la hidratación del cemento, el agua de amasado debe mojar completamente la superficie de los granos de la mezcla. Es entonces interesante observar los constituyentes del hormigón desde la óptica de la superficie que aportan. En este sentido, sin dudas el cemento es el elemento dominante. Este es además el único componente que, reaccionando con el agua, está en condiciones de desarrollar resistencias mecánicas.

Para la determinación de la composición del hormigón, o sea su dosificación, es necesario que los productores tengan en cuenta sobre todo las siguientes características: trabajabilidad, resistencia mecánica, durabilidad y costo (Minetti, 2008).

1.1.1 Propiedades de hormigones en estado fresco y endurecido

El hormigón se presenta a lo largo de su vida bajo dos aspectos físicos muy diferentes; en primer término, inmediatamente después del mezclado y por un breve lapso, participa de las propiedades de un líquido más o menos viscoso y con posterioridad alcanza el estado aparentemente sólido, en el que se mantiene por el resto de su vida útil. Durante el periodo en el que se comporta como un líquido se lo identifica con la denominación de mezcla u hormigón fresco, mientras que a partir del instante en que comienza a ofrecer resistencia a la deformación por aplicación de cargas y por lo tanto a mantener, por lo menos aparentemente, su forma más o menos constante, se lo denomina mezcla u hormigón endurecido (Lucas, 2009).

El hormigón fresco es el producto inmediato del amasado de sus componentes. Desde el primer momento se están produciendo en su masa reacciones químicas que condicionan sus características finales como material endurecido. Reacciones que se prolongan sustancialmente hasta unos años después de su amasado. El hormigón fresco es una masa heterogénea de fases sólidas, líquidas y gaseosas que se distribuyen en igual proporción si está bien amasado (Materiales, 2007).

Propiedades del hormigón en estado fresco

(Materiales, 2007).

Consistencia: es la capacidad del hormigón fresco de deformarse. Principalmente se mide mediante el descenso en centímetros en el ensayo del cono de Abrams.

Docilidad: es sinónimo de trabajabilidad del hormigón fresco. Es su capacidad de ser puesto en su lugar de destino con los medios de compactación de que se dispone. Principalmente se mide mediante el descenso en centímetros en el ensayo del cono de Abrams.

Homogeneidad: es la cualidad de distribución por toda la masa de todos los componentes del hormigón en las mismas proporciones. A la cualidad de homogeneidad se opone el defecto de la segregación o decantación. Se mide por la masa específica de porciones de hormigón fresco separadas entre sí.

Masa específica: es la relación entre la masa del hormigón fresco y el volumen ocupado. Puede medirse con el hormigón compactado o sin compactar. La densidad del hormigón fresco compactado es una medida del grado de eficacia del método de compactación empleado. Se mide en kg/m^3 .

Tiempo abierto: es el período de tiempo que transcurre entre el amasado del hormigón y el principio del fraguado. Es una propiedad muy importante pues es en el que se puede manipular el hormigón sin merma de sus características.

Propiedades del hormigón en estado endurecido

El carácter de hormigón endurecido lo adquiere el hormigón a partir del final de fraguado. El hormigón endurecido se compone de los áridos, la pasta de cemento endurecido (que incluye el agua que ha reaccionado con los compuestos del cemento) y las red de poros abiertos o cerrados resultado de la evaporación del agua sobrante, el aire ocluido (natural o provocado por un aditivo).

Entre sus propiedades se encuentran:

La densidad: es la relación de la masa del hormigón y el volumen ocupado. Para un hormigón bien compactado de áridos normales oscila entre 2300- 2500 kg/m^3 . En caso de utilizarse áridos ligeros la densidad oscila entre 1000-1300 kg/m^3 . Y en caso de utilizarse áridos pesado la densidad oscila entre 3000-3500 kg/m^3 .

Compacidad: es la cualidad de tener la máxima densidad que los materiales empleados permiten. Un hormigón de alta compacidad es la mejor protección contra el acceso de sustancias perjudiciales.

Permeabilidad: es el grado en que un hormigón es accesible a los líquidos o a los gases. El factor que más influye en esta propiedad es la relación entre la cantidad de agua añadida y de cemento en el hormigón (a/c). Cuanto mayor es esta relación mayor es la permeabilidad y por tanto más expuesto el hormigón a potenciales agresiones.

Resistencia: el hormigón endurecido presenta resistencia a las acciones de compresión, tracción y desgaste. La principal es la resistencia a compresión que lo convierte en el importante material que es. Se mide en MPa (Megapascal) y llegan hasta 50 MPa en hormigones normales y 100 MPa en hormigones de alta

resistencia. La resistencia a tracción es mucho más pequeña pero tiene gran importancia en determinadas aplicaciones. La resistencia a desgaste, de gran interés en los pavimentos se consigue utilizando áridos muy resistentes y relaciones agua cemento muy bajas (Materiales, 2007).

Durabilidad: es la capacidad de la mezcla endurecida, de soportar sin deteriorarse, las sollicitación es provocadas por agentes físicos o químicos, que pueden agredir al hormigón, no solo en su superficie, sino también en el interior de su masa. La posibilidad de que el ataque se produzca en el interior del hormigón, se debe a la existencia de los canales capilares, que se forman como consecuencia del fenómeno de exudación (Minetti, 2008).

Retracción: es el fenómeno de acortamiento del hormigón debido a la evaporación progresiva del agua absorbida que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento, y el agua capilar. Es el agua menos fijada en los procesos de hidratación. Además en el hormigón endurecido está presente el agua en distintos estados: agua combinada químicamente o de cristalización, agua zeolítica o intercristalina y agua de gel (Materiales, 2007)

1.1.2 Ensayos que se les realizan al hormigón en estado fresco y endurecido

Existen diferentes ensayos que se realizan en hormigones con el objetivo de evaluar sus propiedades. Entre los que se realizan con hormigón en estado fresco se tienen los que van dirigidos a medir su consistencia y evalúan también la trabajabilidad obtenida. En hormigones endurecidos los ensayos se dirigen mayormente a medir la resistencia que alcanzaron en el tiempo deseado ya sea a compresión o a flexo-tracción aunque no se pueden descartar otros tipos de ensayos que se realizan a hormigones en este estado como los ensayos de absorción.

Hormigón en estado fresco

Entre los métodos de examen que se utilizan para la valoración de la consistencia del hormigón en estado fresco se tienen el método de asentamiento en el cono de Abrams y el método de extendido en la mesa de Graff. Estos dos métodos no son

recomendables de la misma manera en los diversos campos de consistencia (Minetti, 2008).

Como medida para la consistencia puede emplearse el trabajo que se requiere para la deformación de una masa de hormigón fresco. En esto se basa el consistómetro VeBe, el medidor de consistencia ONA y el aparato de Powers.(Nischer, 1972)

La medida de la consistencia mediante el consistómetro de VeBe una variante del cono de Abrams, muy útil en los casos en los que este último carece de sensibilidad como ocurre con los hormigones muy secos y con los reforzados con fibras, que darían asientos nulos. El sistema consiste en medir el tiempo que tarda un tronco de cono de hormigón, moldeado con el cono de Abrams y colocado en el interior de un recipiente cilíndrico situado sobre una mesa vibrante, en deformarse y tomar la forma de éste bajo la acción de un vibrador de 3.000 r.p.m. con una aceleración máxima de 3 a 4 *g*. La consistencia del hormigón se mide en segundos VeBe (Tabla 1.1, Figura 1.1) e indica el tiempo transcurrido desde que se inicia la vibración hasta que el hormigón se compacta dando una superficie horizontal, lo que se aprecia por medio de un disco de plástico que acompaña libremente al hormigón durante su descenso.

Tabla 1.1. Clasificación según Medidas de consistencia.

Tiempo VeBe (s)	Consistencia
30 a 18	Extremadamente seca
18 a 10	Muy seca
10 a 5	Seca

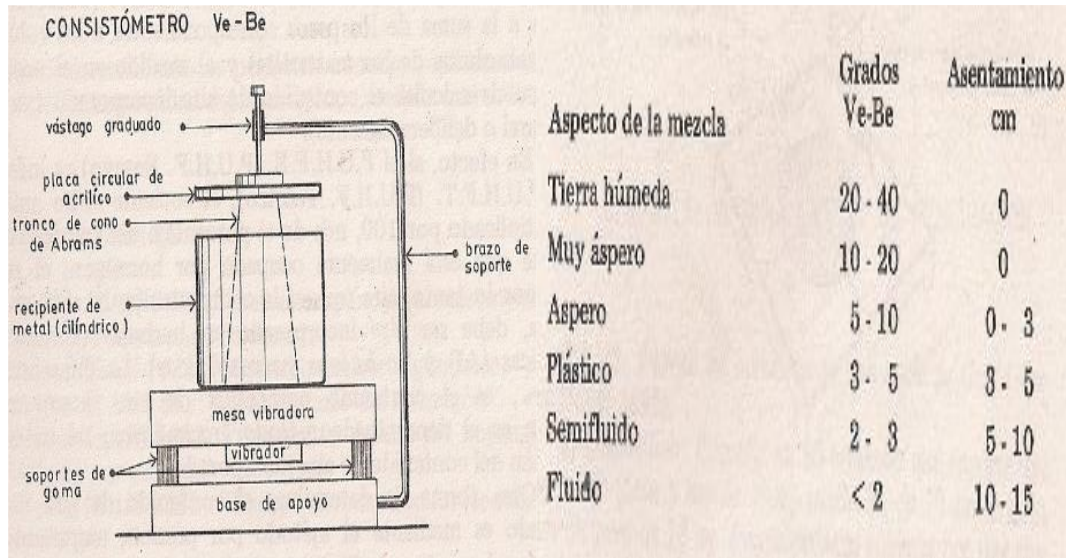


Figura 1.1. Consistómetro VeBe (Lucas, 2009).

Una variante del consistómetro VeBe es el consistómetro Skramptaev (NEMT-255605, 1987a) (Figura 1.2). Entre las modificaciones que presenta el consistómetro Skramptaev con respecto al VeBe se tiene el recipiente dentro del que se coloca el cono y al que finalmente se adecua la mezcla de hormigón, al ser cúbico y no cilíndrico.

Los resultados obtenidos por este método pueden ser homologados con otros consistómetro como el VeBe.



Figura 1.2. Cubo Skramptaev.

Hormigones en estado endurecido

Las mezclas endurecidas corresponden a la tercera etapa en la vida del hormigón, la que comienza en el momento en que este ha alcanzado un grado de hidratación de la pasta de cemento para que esta sea capaz de mantener unidos entre sí los granos de los agregados en forma permanente. Esto se pone en evidencia por la resistencia que ofrece una pieza de hormigón, por ejemplo, al cambio de forma por acción de una sollicitación mecánica (caso del ensayo de compresión).

La resistencia mecánica es la más conocida de las propiedades de la mezcla endurecida. El hormigón luego del periodo de fraguado, comienza a dar resistencia hasta endurecerse por completo a los 28 días (Lucas, 2009).

Ensayo de resistencia a la rotura por compresión

Por lo general se realiza el ensayo en probetas de forma cilíndrica de esbeltez igual a 2 (altura de la probeta/diámetro de la base).

Se moldean las probetas de acuerdo con las Normas IRAM 1524 y 1534, el moldeo se efectúa colocando y compactando el hormigón en forma similar a la empleada para el ensayo de asentamiento que se realiza con el tronco de cono de Abrams. Este procedimiento es válido solo para hormigones de 3,0 cm o más de asentamiento; para mezclas más secas la compactación deberá efectuarse por vibración, ya sea mediante vibrador de inmersión (diámetro máximo del elemento vibrante: 25mm para probetas de 15 x 30).

Para la ejecución de ensayo de rotura por compresión se utilizan prensas con capacidad de 100 a 150 toneladas. Se mide la deformación de la probeta al aplicársele cargas cada vez mayores (Lucas, 2009).

Ensayo de absorción

La absorción del concreto puede ser definida como la relación entre la masa de agua que penetra los poros saturables y el peso seco de la muestra penetrada por el agua (Riva L, 2006). Para la realización de este ensayo se toman probetas de cada muestra objeto de estudio y se colocan dentro de un tanque de curado durante 24 horas, luego se sacan del tanque de curado y se secan con una frazada para eliminar la humedad

superficial, luego se pesan en una balanza digital con una precisión de 0,01g obteniéndose el peso saturado de las muestras, después los especímenes se colocan en la estufa a una temperatura de 110°C y son secados durante 24 horas hasta obtener el peso seco. Posteriormente y aplicando la ecuación 1 se obtiene el porcentaje de absorción.

1.1.3 Curado de hormigones

Se entiende por curado al procedimiento mediante el cual se evita al máximo posible que parte del agua de amasado del hormigón se pierda por distintas vías. Efectivamente, la mezcla de hormigón se fabrica generalmente con una cantidad de agua muy superior a la requerida para la hidratación del cemento, pero necesaria para lograr la adecuada trabajabilidad del hormigón. El proceso de fraguado no ocurre de manera inmediata, sino que de manera progresiva se van hidratando los distintos minerales del cemento, con una velocidad mucho mayor en las primeras edades, y disminuyendo a medida que avanza el grado de hidratación. Si se permite la fuga desmedida del agua, puede ocurrir que la restante sea insuficiente para la correcta hidratación del cemento, de ahí la importancia de garantizar condiciones adecuadas que impidan la pérdida de agua, proceso que se conoce con el nombre de “curado”. En otras palabras, el curado del hormigón es el mantenimiento de las condiciones de temperatura y humedad adecuadas para que se produzca de manera conveniente el proceso de fraguado y endurecimiento (Betancourt, 2013).

Métodos de curado del hormigón:

Según Betancourt (2013) los métodos de curado del hormigón se basan precisamente en las formas de mantener la humedad en el hormigón, relacionadas anteriormente:

- I. Los que evitan o atenúan la pérdida de humedad por interposición de agua o de un medio húmedo entre la superficie del hormigón y el ambiente (aire).
- II. Los que impiden o reducen la pérdida de humedad por interposición de una membrana impermeable.

III. Los que aceleran las reacciones de hidratación del cemento y por tanto el desarrollo de resistencias, por incremento de la temperatura y otros agentes, mientras el hormigón fragua y endurece (Tratamientos térmicos).

En la práctica, los procedimientos usuales para realizar el curado según los métodos anteriores son los siguientes:

- I. Los que evitan o atenúan la pérdida de humedad por interposición de agua o de un medio húmedo entre la superficie del hormigón y el ambiente (aire).
- II. Los que impiden o reducen la pérdida de humedad por interposición de una membrana impermeable.
- III. Los que aceleran las reacciones de hidratación del cemento y por tanto el desarrollo de resistencias, por incremento de la temperatura y otros agentes, mientras el hormigón fragua y endurece (Tratamientos térmicos).

Las probetas se mantienen en sus moldes durante un periodo mínimo de 24 horas. En ese lapso no deberán sufrir vibraciones, sacudidas, ni golpes, se protegerá la cara superior con arpillera húmeda, lamina de polietileno o tapa mecánica y se mantendrá en ambiente protegido de inclemencias climáticas (calor, frio, lluvia y viento). Una vez transcurridas las primeras 24 horas, se procede a desmoldar e inmediatamente se acondiciona la probeta para su mantenimiento hasta el momento de ensayo. Durante este período (7,14 o 28 días) deben mantenerse condiciones de temperatura y humedad, según Norma IRAM 1524 y 1534, la probeta debe mantenerse en un medio ambiente con no menos del 95% de humedad relativa, y en cuanto a la temperatura , en los 21 °C , con una tolerancia en más o menos de 3 °C para la obra y de 1 °C para el laboratorio (o lo que es lo mismo, en obra la temperatura puede oscilar entre 18 °C y 24 °C) (Lucas, 2009).

Uno de los mayores peligros para el hormigón fresco es la deshidratación precoz: esta se inicia en la superficie y se propaga en profundidad impidiendo una buena hidratación de la pasta de cemento.

Esta debe poseer una densidad elevada y de este modo una porosidad mínima, sobre todo en las zonas directamente bajo la superficie. Solo así la pasta de cemento está en

condiciones de oponer resistencia a las agresiones externas y a la carbonatación antes de que alcancen la armadura. El curado debe proteger al hormigón de la deshidratación precoz debida al viento, al sol y al frío seco, de temperaturas extremas (calor – frío y grandes amplitudes térmicas), intemperie y la acción prematura de sustancias nocivas como aceites, y otras (Minetti, 2008).

1.2 Hormigones de altas prestaciones (HAP)

En las últimas décadas de este siglo, se ha producido una fuerte evolución del nivel de las prestaciones requerida a los hormigones. Ello responde a que el hormigón se ha ido abriendo camino en campos con mayores exigencias. Ese aumento del nivel de prestaciones ha conducido a que los hormigones que dan respuesta a las mismas sean denominados hormigones de altas prestaciones. Dentro de este grupo, si la prestación principal requerida al mismo es la resistencia, se le denomina hormigón de alta resistencia, que en este trabajo se considera aquél cuya resistencia sea superior 50 MPa. Un paso más en la dirección de altas prestaciones mecánicas son los hormigones de altas resistencias con fibras, los cuales no sólo presentan altas resistencias en la tensión máxima sino, que tienen un comportamiento en la rama post-pico o con una gran ductilidad y tenacidad (Zangemi, 1999).

El concepto de hormigón de alta resistencia (HAR) presenta cierto grado de arbitrariedad y ha variado con el tiempo. Así, en los años 50, se llamaba alta resistencia a los 35 MPa, en los 60 a los 40-50 MPa. Actualmente, la definición del CEB-FIP sirve de guía, indicando que son HAR los hormigones cuya resistencia a compresión está comprendida entre el límite superior que al respecto establecen actualmente las normas nacionales (alrededor de 60 MPa) y los 130 MPa, valor máximo que, en la práctica, puede alcanzarse con áridos convencionales. Otras definiciones de HAR se basan en aspectos distintos a la resistencia como aquél que utiliza humo de sílice aquél en el que el mortero es tan resistente como el árido. Más recientemente, se suele referir a este tipo de hormigones con el apelativo de "hormigones de altas prestaciones" (HAP) significando que las características de composición inherentes a los hormigones de alta resistencia implican la existencia de otras propiedades adicionales muy importantes:

facilidad de compactación, resistencia a agentes agresivos y mayor durabilidad, entre otras (Ramirez, 1998).

Los elementos fundamentales que concurren en un HAR son:

- Elevado contenido en cemento 400-500 kg/m³ procurando que sea de bajo contenido de adiciones para mayor actividad puzolánica, regularidad en su composición y bajo calor de hidratación. Son factores limitadores de la dosificación la posible falta de dispersión del cemento en la masa y la máxima temperatura admisible en el fraguado.
- Muy bajo contenido en agua, relación a/c de 0,25-0,40, con elevada docilidad, que permita colocar el hormigón en zonas de alta densidad de las armaduras, lo que se logra mediante la utilización de reductores de agua de alto rango (superplastificantes), cuya compatibilidad con el cemento debe ser comprobada y que en dosificaciones excesivas pueden generar problemas de pegajosidad de la masa (Ramirez, 1998).

El hormigón de alto desempeño es un hormigón que cumple con la combinación de desempeño especial y requisitos de uniformidad, que no puede ser rutinariamente conseguida, usando solamente los componentes convencionales y las practicas normales de mezclas, colocación y curado y entre sus características tiene: manejabilidad, rápido desarrollo de las resistencias, excelente durabilidad, elevada resistencia a los ataques químicos y a la abrasión, estabilidad volumétrica, módulos elásticos elevados (Orta and Jara, 2005).

Tipos de hormigones de altas prestaciones (Orta and Jara, 2005):

- Hormigón de Alta Resistencia
- Hormigón Compactado con Rodillo
- Hormigones con polímeros

Según (BASF, 2009) el hormigón de altas prestaciones es el que proporciona a la estructura cualidades de durabilidad y sostenibilidad inalcanzables con hormigones convencionales. Es aquel hormigón que reúne diversas cualidades que mejoran su comportamiento en diferentes facetas con respecto a un hormigón tradicional. Para ello incorporan en su formulado aditivo que le proporcionan unas propiedades que lo

diferencian del resto proporcionando valor añadido al elemento ejecutado con ellos. Se trata de hormigones que ven mejorado su comportamiento en fresco, lo que repercute en su trabajabilidad y colocación en obra, y su comportamiento en estado endurecido, como pueden ser su ductilidad, su resistencia a compresión o a flexión, ampliando las ya de por sí importantes aplicaciones del hormigón.

Otros conceptos expresan que la denominación de alta resistencia está siendo sustituida por la de altas prestaciones. Se denomina así al hormigón que reúne unas características especiales, que no pueden alcanzarse usando componentes convencionales y métodos ordinarios de amasado, puesta en obra, compactación y curado.

Entre las características especiales que pueden reunir los hormigones de altas prestaciones se encuentran las siguientes: facilidad de colocación (trabajabilidad), compactación sin segregación, alta resistencia en las primeras edades, alta resistencia a largo plazo, impermeabilidad, densidad, compacidad, estabilidad de volumen y larga vida útil en ambientes agresivos.

Como muchas de estas características están relacionadas entre sí, un cambio de una cualquiera de ellas entraña cambios en las otras. Por esta razón, cuando se desee utilizar un hormigón de altas prestaciones, conviene especificar claramente en el proyecto aquellas características del mismo que se consideren críticas. De forma resumida puede decirse que las altas prestaciones comprenden las tres propiedades principales de todo hormigón: resistencia, durabilidad y trabajabilidad (Martinez, 2011).

1.3 Aditivos empleados en la elaboración de HAP

Los aditivos son sustancias que se agregan al hormigón. A través de sus acciones químicas y/o físicas, estas sustancias modifican determinadas características del hormigón fresco y del endurecido, como el fraguado, la trabajabilidad, el endurecimiento. El uso de los aditivos se justifica por razones técnicas y económicas. Determinadas características del hormigón fresco y del endurecido no pueden realizarse sin el agregado de aditivos. Estos pueden contribuir a disminuir el costo de la

mano de obra y de los materiales. Además permiten el ahorro de energía y facilitan la colocación del hormigón (Minetti, 2008).

Son agregados generalmente en forma líquida en pequeñas cantidades en el momento del mezclado. Su porcentual en peso con respecto al cemento se sitúa habitualmente entre 0,2 y 2 %. De todos modos, la dosificación debe hacerse siguiendo las indicaciones del productor. En la preparación de la fórmula del hormigón será necesario tener en cuenta la parte de líquido introducido para dosificaciones superiores a 1 %. Es necesario evitar las dosificaciones inferiores al nivel de precisión de las balanzas convencionales. La dosificación en defecto se manifiesta en la disminución rápida del efecto deseado, mientras que la dosificación en exceso puede tener efectos indeseables como demoras en el fraguado, la segregación o la pérdida de resistencia a la compresión (Minetti, 2008).

Tipos principales de aditivos. Efectos (Minetti, 2008):

- ✓ Fluidificantes: Reducción de la necesidad de agua y/o mejoramiento de la trabajabilidad.
- ✓ Súper-fluidificantes: Pronunciada reducción de la necesidad de agua y/o mejoramiento de la trabajabilidad para la obtención de un hormigón fluido.
- ✓ Incorporadores de aires: Producción y dispersión de minúsculas burbujas de aire en la masa del hormigón para una mejor resistencia al hielo / sales anti-hielo.
- ✓ Retardadores de fraguado: Demora en el inicio del fraguado del hormigón.
- ✓ Aceleradores de fraguado: Aceleración del fraguado y del endurecimiento del hormigón, sobre todo a bajas temperaturas.

Aditivos que se utilizan en los hormigones de altas resistencias (HAR)

Los aditivos normalmente empleados en los HAR son los superfluidificantes, en dosis que suelen oscilar entre 10 y 20 kg por m³ de hormigón. Se consiguen así asientos en cono de Abrams del orden de 150 a 200 milímetros. Los tipos más empleados son a base de policondensados de formaldehído-melanina sulfonados, o bien de naftaleno sulfonados, no siendo recomendables los compuestos lignosulfonados por retrasar en exceso el comienzo del fraguado.

Los superfluidificantes provocan una gran dispersión de las partículas de cemento, impidiendo la floculación de las mismas, con lo que se reduce mucho el agua intersticial y se consigue mejorar considerablemente la hidratación del conglomerante. Se logra así aumentar la plasticidad de la masa con relaciones agua/cemento muy bajas, lo que conduce a obtener hormigones muy trabajables, muy poco porosos y de alta resistencia.

La dosificación de los superfluidificantes, así como su eficacia, depende de muchos factores: de su composición, del tipo y clase de cemento, de la relación agua/cemento, del tiempo de transporte a obra, de las adiciones, etc. Por otra parte, al envolver el superfluidificante a las partículas de cemento, puede retrasarse algo el comienzo de la hidratación. Además, algunos de estos aditivos pierden su eficacia en breve tiempo, lo que debe tenerse en cuenta en la fabricación, transporte y puesta en obra del hormigón (Martinez, 2011).

1.4 Elementos prefabricados con HAP

La prefabricación es un método industrial de producción de elementos o partes de una construcción en planta o fábrica y su posterior instalación o montaje en la obra. La aparición masiva de este sistema recibe su gran impulso debido a la gran necesidad de construir viviendas de una forma numerosa, barata y rápida, necesidades originadas en las guerras, migraciones, centros urbanos y la explosión demográfica.

Esta técnica, que ha tenido un enorme desarrollo a nivel mundial, presenta claras ventajas cuando se requiere utilizar elementos repetitivos e industrializar las faenas de construcción y mejorar su productividad. Entre ellas se destacan las siguientes: reducción de plazos de construcción, organización similar a una fábrica con mayor grado de mecanización mano de obra estable y especializada, mayor facilidad para un adecuado control de calidad, menor formación de juntas de hormigonado; uso múltiple y repetitivo de encofrados o moldajes, posibilidad de aplicar técnicas de pretensado, curado acelerado, etc.; la construcción se convertiría en una actividad continua, la mano de obra que trabajaría en estas cadenas de montaje no necesitaría una formación especializada, la rapidez de montaje, ahorro de materiales utilizados en obra, reducción de los residuos de la construcción, los componentes prefabricados se construirían con

materiales de la misma calidad, también poseerían una mayor fortaleza para resistir durante el transporte y montaje.

Según (Escriga, 2010) se conoce como construcción industrializada al sistema constructivo basado en el diseño de producción mecanizado de componentes y subsistemas elaborados en serie que, tras una fase de montaje, conforman todo o una parte de un edificio o construcción. En un edificio prefabricado, las operaciones en la obra son esencialmente de montaje y no de elaboración.

Los medios de producción han evolucionado substancialmente gracias a las mejoras tecnológicas aplicadas a los materiales y a los sistemas productivos. El desarrollo de hormigones especiales (HAR y HAC) ha permitido a las plantas de hormigón ofrecer una amplia gama de dosificación con una notable precisión. Este hecho ha permitido el diseño y producción de diversas gamas de productos de hormigón prefabricado con diferentes usos, tamaños y acabados.

El hormigón de altas prestaciones es utilizado en elementos prefabricados cuando se quiere reducir las dimensiones del mismo sin que pierda la posibilidad de recibir altas cargas. La mayor utilización de este tipo de hormigones se ha visto asociada a la construcción de elementos prefabricados en edificios altos en los que el espacio disponible es reducido y también en elementos como las traviesas de ferrocarril.

1.5 Traviesas de hormigón

Las traviesas de hormigón, también denominadas durmientes de hormigón, son un tipo de traviesas que aparece ante la necesidad de buscar elementos más baratos y abundantes que la madera.

En las Especificaciones Técnicas de la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas del año 2015 se define como traviesas al componente transversal de la vía férrea que transmite al balasto la carga aplicada a los rieles y junto con la fijación controla la trocha de la vía (EIIF, 2015).

También se define que las traviesas de hormigón pretensado son traviesas de hormigón o concreto pre esforzado o sometido a tensiones previas de compresión. El esfuerzo a compresión de la traviesa se obtiene mediante alambres o barras de acero traccionadas

con la carga correspondiente y que transmiten el esfuerzo ya sea por adherencia o anclaje o una combinación de ambos.

Las principales funciones que debe desempeñar una traviesa son las siguientes: soporte de los raíles, fijando y asegurando su posición en lo referente a cota, separación e inclinación; recibir las cargas verticales y horizontales transmitidas por los raíles y repartirlas sobre el balasto mediante su superficie de apoyo; conseguir y mantener la estabilidad de la vía en el plano horizontal y en el vertical frente a los esfuerzos estáticos procedentes del peso propio y las variaciones de temperatura y a los esfuerzos dinámicos debidos al peso de los trenes; mantener, siempre que sea posible, por sí mismo y sin ayuda de elementos específicos incorporados a la sujeción, el aislamiento eléctrico entre los dos hilos de raíles cuando la línea esté dotada de circuitos de señalización o por corrientes parásitas.

Para cumplir estas funciones deben considerarse el material, las funciones, el peso, la elasticidad que confiere a la vía, sus características aislantes y su durabilidad. Los materiales de que se dispone para hacer las traviesas serán la madera, el acero, la fundición, los materiales sintéticos, el hormigón, el hormigón armado y el tensado, que es el más usado en la actualidad. Las características de este hormigón tensado son: la traviesa de hormigón pretensado o postensado tiene una vida útil en servicio, superior al doble de los de madera; conserva a lo largo de toda la vía una notable constancia en sus condiciones físicas; la vía muestra una mayor resistencia a los desplazamientos en su plano; se puede diseñar en la forma más conveniente para resistir los esfuerzos que habrá de soportar en servicio, su costo es un poco menor que la traviesa de madera tratada; para aislar eléctricamente los dos raíles es necesario usar piezas de aislamiento especiales; el manejo es más difícil a causa del peso elevado (más de 300 kg) y su relativa fragilidad; presenta una debilidad estructural en su centro, debido a que su apoyo uniforme en el balasto, el cual se origina por el esfuerzo de tracción en su cara superior.

En general se pide que los materiales empleados para la fabricación de traviesas de hormigón sean de elevada calidad: cemento de alta calidad, áridos de resistencia elevada, silíceos de tamaño uniforme.

La resistencia a la compresión del hormigón debe ser mayor de 550 kg/cm², y la tensión de ruptura del acero debe estar por encima de 150 kg/mm².

Se pueden distinguir claramente dos clases de traviesas de hormigón: traviesa de hormigón monobloque y traviesa de hormigón bibloque

La traviesa de hormigón monobloque y bibloque son fabricadas por lotes o sublotos, con una armadura la cual es calculada para ofrecer una buena resistencia a la presión del material rodante, la cual queda oculta al verter el hormigón al molde (Schmitt, 2014).

1.5.1 Producción de traviesas en Cuba

En la producción de la traviesa pretensada Cuba 71 se emplearon, por primera vez en Cuba, los aditivos superplastificantes (Mighty 150 producido en Japón) antecediendo así a muchos países latinoamericanos. Los prototipos fueron posteriormente introducidos y generalizados en las plantas de prefabricado de Boyeros, Las Villas, Camagüey, Bayamo y Santiago de Cuba para una producción total de 1650 millones las que fueron colocadas en más de 700 km de vías del Ferrocarril Central. Calculadas a los precios actuales y estimando 27.00 USD / traviesa, para una durabilidad de 30 años, se ha logrado con la introducción de este desarrollo una economía de más de 135 millones de pesos. Las investigaciones de monitoreo sistemático durante más de 25 años realizado con estas traviesas con empleo de técnicas avanzadas de investigación, tales como los ensayos NDT, DRX y SEM demuestran el logro de hormigones de altas prestaciones con más de 60 MPa con empleo de los áridos triturados de origen calizo y los cementos Portland producidos en Cuba. En el diseño de estos hormigones se lograron las resistencias de más de 30.0 MPa a las 24 horas con lo que se aumentó en 4 veces la producción para alcanzar la capacidad de 250,0 mil traviesas anuales por planta. Estas traviesas han sido sometidas a explotación durante más de 35 años en las vías férreas cubanas (CTDMC, 2008).

Hoy en Cuba la fabricación de traviesas está a cargo de la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIF) y la empresa Cuba 71 ambas ubicadas en el municipio de Santa Clara, provincia Villa Clara. Las vigas elaboradas en estas fábricas, gozan de la mayor calidad y tienen una vida útil aproximada de 50 años. Partiendo de la cantidad de

traviesas que se necesitan para un kilómetro de vía (1 840), se obtiene una idea de la importancia de los trabajos realizados en ambas entidades para asegurar el transporte ferroviario en el país (Pérez, 2015).

1.6 Aditivos de origen biotecnológico en Cuba

Con el fin de disponer un aditivo de producción nacional que aporte mejoras a las propiedades de las pastas, morteros y hormigones se han realizado estudios en la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas (UCLV) coordinados por el CIDEM, el Centro de Bioactivos Químicos y el instituto de Biotecnología de las Plantas de conjunto con otras instituciones del país que han permitido el desarrollo de bioproductos elaborados a base de microorganismos (Tabla 1.2). Entre ellos se destaca el MEF 32 producido por el Instituto Finlay y más recientemente el CBQ-VTC producido por el Centro de Bioactivos Químicos de la UCLV. Ambos obtenidos a escala productiva por fermentación microbiana a partir de subproductos de las industrias azucarera y láctea y con propiedades plastificantes/viscosificantes.

Tabla 1.2 Uso de aditivos de origen biotecnológico en Cuba en pastas, morteros y hormigones

Aditivos	Año	Aplicación	Referencia
Bioben	2010	Uso de plastificantes a partir de microorganismos eficientes en hormigones.	(Gómez, 2010)
Micro-ben Bioben	2011	Análisis del Micro-ben como aditivo plastificante para los Hormigones Autocompactables.	(Abreu, 2011)
IH-plus	2012	Evaluación del “IHplus” como bioplastificante en la producción de pastas y morteros.	(Mora López, 2012)
MEF 19, 20 y 30	2013	Determinación del efecto plastificante de bioproductos MEF en pastas.	(Brizuela, 2013)
MEF 19, 20 y 30	2013	Propiedades reológicas de morteros y hormigones hidráulicos empleando aditivos bioplastificantes MEF producidos en Cuba	(Peña, 2013)
MEF 19, 20 y 30	2013	Influencia de bioproductos MEF sobre propiedades físicas y reológicas de pastas de cemento	(Cabrera, 2013)
MEF 32	2014	Incremento del efecto plastificante del Bioproducto MEF-32 en pastas de cemento P-35.	(Rodríguez León, 2014)
MEF 32	2014	Influencia del bioproducto MEF-32 como plastificante en pastas y morteros, utilizando los cementos P-35 (Cienfuegos), PP-25 y B45 (Siganey).	(Rodríguez, 2014)
CBQ-VTC	2015	Comportamiento del bio-producto CBQ-VTC como aditivo plastificante en pastas.	(Machado, 2015)

Conclusiones parciales del capítulo I

1. El hormigón tiene amplias aplicaciones a nivel mundial dependiendo de sus propiedades reológicas y físico mecánicas en estado fresco y endurecido.
2. Los aditivos permiten trabajar con hormigones de mayor resistencia y durabilidad con los cuales se elaboran elementos prefabricados entre los que se encuentran las traviesas de hormigón.
3. En la UCLV se cuenta con resultados científicos sobre aditivos de origen biotecnológicos que podrían sustituir aditivos químicos en la fabricación de hormigones.

Capítulo II. Materiales y experimentación empleados para evaluar la influencia del bioproducto CBQ-VTC como aditivo de hormigón pretensado para la elaboración de traviesas

La presente investigación se realizó en la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIF) de Santa Clara, Villa Clara, Cuba, de mayo de 2015 a mayo 2016.

2.1 Materias primas utilizadas para la elaboración de hormigón

Cemento Portland P-350.

Procedente de la Empresa Mixta Cementos Cienfuegos SA fábrica Carlos Marx.

Árido Grueso

Fracción 19,0 – 4,75 mm. Procedente de la cantera “Remolida” Mariano Pérez Balí (El Purio).

Árido Fino.

Fracción 4,75 mm. Procedente del Yacimiento Arimao, ubicado en Carretera Santa Martina, en la provincia de Cienfuegos.



Figura 2.1. Materias primas empleadas en el trabajo de investigación. A cemento, b. árido grueso, c. árido fino.

Aditivos

- ✓ Dynamon SPC- 345,
- ✓ Mapefluid N-200,
- ✓ DynamonSX-32,
- ✓ CBQ - VTC: De origen biológico producido en el Centro de Bioactivos Químicos en la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, sujeto a investigación.

2.2 Caracterización de las materias primas utilizadas a partir de datos suministrados por la empresa

Los ensayos de áridos y cemento fueron realizados por la Unidad de Investigación para la Construcción de Villa Clara pertenecientes a la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA).

2.2.1 Árido grueso

El árido grueso utilizado es de origen calizo. Sus características físico - mecánicas se detallan a continuación en las tablas 2.1 y 2.2.

Tabla 2.1. Análisis granulométrico del árido grueso. Según (NC251, 2005)

Tamiz (mm)	% Pasado	% de Especificaciones	
25,40	100	0	100
19,10	96	90	100
9,52	29	20	55
4,76	3	0	10
2,38	1	0	5

Tabla 2.2. Características físicos-mecánicas de los áridos gruesos (gravilla). ("El Purio")

Características	Unidad	Resultado
Material más fino que el Tamiz 200	%	0,30
Partículas de arcilla	%	0,00
Partículas planas y alargadas	%	0,00
Peso específico corriente	g/cm ³	25,00
Peso específico saturado	g/cm ³	2,12
Peso específico aparente	g/cm ³	2,57
Absorción	%	1,50
Masa volumétrica suelta	kg/cm ³	1330
Masa volumétrica compactada	kg/cm ³	1494

2.2.2 Árido fino

El árido fino presenta una formación geológica de aluvio con una fracción de 5–0,15mm, conformado con arenas polimícticas, arenas aluviales y sedimentos areno-

arcillosos con gravas. La granulometría fue controlada por el método del tamizado y sus características granulométricas y físico-mecánicas se detallan a continuación en las tablas 2.3 y 2.4.

Tabla 2.3. Análisis granulométrico del árido fino. Según (NC251, 2005).

Tamiz (mm)	% Pasado	% de Especificaciones	
9,52	100	100	-
4,76	97	90	100
2,38	76	70	100
1,19	47	45	80
0,59	24	25	60
0,295	9	10	30
0,149	3	2	10

Tabla 2.4. Características físicos-mecánicas de los áridos finos (arena) (“Arimao”).

Características	Unidad	Resultado
Material más fino que el Tamiz 200	%	4,20
Partículas de arcilla	%	2,10
Impurezas orgánicas	%	1,00
Peso específico corriente	g/cm ³	2,59
Peso específico saturado	g/cm ³	2,62
Peso específico aparente	g/cm ³	2,67
Absorción	%	0,80
Peso volumétrico suelto	kg/cm ³	1420
Peso volumétrico compactado	kg/cm ³	1591

2.2.3 Cemento P-35

El cemento utilizado se clasifica como un cemento tipo I de acuerdo con la NC 54 205:80. Los ensayos se le realizaron de acuerdo con la Norma (NC54-207, 1980). “Cemento. Ensayos físicos-mecánicos” y se alcanzaron los resultados que se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Resistencia a flexo-tracción y a la compresión del cemento P-35.

Ensayo	Resistencia (MPa)	Especificaciones
Resistencia a Compresión a 7 días	29,0	≥25,0
Resistencia a flexión-tracción a los 7 días	5,6	≥4,0
Resistencia a compresión a los 28 días	39,0	≥35,0
Resistencia a flexión-tracción a los 28 días	7,4	≥6,0

Tabla 2.6. Características físico – mecánicas del cemento.

Características	Resultados	Especificaciones
Masa volumétrica ^{m³}	1 127	-
Peso específico real(g/cm ³)	3,11	-
Consistencia normal (%)	24	-
Tiempo inicial de fraguado (min)	140	≥45
Tiempo final de fraguado (máx.) en horas	4,10	≤10h

2.2.4 Aditivos

2.2.4.1 Bioproducto CBQ-VTC



Figura 2.2. Aditivo bioplastificante CBQ-VTC

El bio-producto CBQ-VTC es obtenido en el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ) perteneciente a la Universidad Central “Marta Abreu de Las Villas”, basado en la modificación de la tecnología de microorganismos eficientes. Es un líquido de color pardo con olor agridulce, donde predominan bacterias y levaduras. Para su elaboración se emplea reactores de fermentación anaeróbica y como materia prima se utiliza la mezcla de melaza, suero y agua (Tabla 2.7).

Tabla 2.7. Valores técnicos característicos del aditivo CBQ-VTC

Propiedades	Método de ensayo	Resultados
Homogeneidad	Examen visual	Homogéneo
Color	Examen visual	carmelita
Densidad relativa	NC 271-2	1,02
Contenido de ST (%)	NC 271-1	3,60
Contenido de SS (%)	Refractómetro	12.6
Valor de pH	NC 271-4	3,78

2.2.4.2 Dynamon SX-32

Dynamon SX 32 es un aditivo líquido superplastificantes para hormigones de alta calidad, a base de polímeros acrílicos no sulfonados, completamente exento de formaldehído (MAPEI, 2010).

Características técnicas

Es una solución acuosa al 22,1% de polímeros acrílicos, exenta de formaldehído, capaz de dispersar eficazmente los granos del cemento con componentes secundarios que mejoran notablemente la cohesión y la facilidad de bombeo del hormigón como se muestra la tabla 2.8.

Tabla 2.8. Datos técnicos del Dynamon SX-32.

Datos técnicos(valores característicos)	
Consistencia	líquido
Color	ámbar
Densidad según la ISO 758 (g/cm ³)	1,08 ± 0,02 a +20°C
Residuo seco según EN 480-8 (%)	22,1 ± 1,1
Acción principal	aumento y conservación de la trabajabilidad y/o reducción de agua
Clasificación según EN 934-2	reductor de agua de alta eficacia / superfluidificante, prospecto 11,1;11,2
Cloruros solubles en agua según EN 480-10 (%)	< 0,1 (ausentes según EN 934-2)
Contenido de álcali (Na ₂ O) equivalente según EN 480-12 (%)	< 3,5
pH según la ISO 4316	6,5 ± 1
Conservación	12 meses en los envases originales no abiertos, proteger del hielo

Requerimientos de empleo del aditivo

Existen dos formas de añadir el Dynamon SX-32 a la mezcla, la primera es añadirlo después de los componentes de la mezcla (cemento, áridos, añadidos minerales o filler y, al menos, el 80% del agua de la mezcla) y la segunda es disolverse previamente en el agua total de amasado.

2.2.4.3 Mapefluid N-200

El Mapefluid N-200 (N-200) es un aditivo líquido pardo superplastificante con un 40% de polímeros activos, capaces de dispersar los gránulos del cemento. Es utilizado en hormigones de cualidades (impermeables, durables y mecánicamente resistentes). Con él se pueden obtener hormigones de elevada trabajabilidad, es decir, de fácil uso en la obra cuando está fresco y de elevadas prestaciones cuando está fraguado (MAPEI, 2008).

Además, es un aditivo fluidificante que presenta una leve acción retardante sobre la hidratación del cemento. Variando su dosificación entre 0,5 – 1,5% respecto al peso del cemento, se pueden lograr objetivos diferentes en las propiedades de los hormigones,

ya sea para aumentar la laborabilidad, reducir el agua de amasado o lograr una menor dosificación de cemento.

El aditivo es más eficaz cuando más se posponga el momento de ser añadido, debido a que los gránulos del cemento y los áridos están ya bañados por el agua, y es mínima cuando se introduce encima de los sólidos secos, que absorben una parte del agua y se reduce parcialmente la eficacia del producto. Por lo que se recomienda agregar el aditivo cuando haya sido introducida al menos la mitad del agua de la mezcla prevista. Sus características técnicas se muestran en la tabla 2.9.

Tabla 2.9. Valores técnicos característicos del aditivo N-200.

Datos identificativos del producto	
Densidad (ISO 758) (g/cm ³)	1,20 ± 0,03 a ± 20°C
Porcentaje de sustancia seca (En 480-8) (%)	40 ± 2
Acción principal	Reducción de agua y/o aumento de la trabajabilidad
Acción colateral	Leve retraso en los tiempos de fraguado, en altas dosificaciones
Clasificación según UNI EN934-2	Reducción de agua de alta eficacia, superfluidificante.
Cloruros disueltos en agua según EN 480-10 (%)	< 0,1
Contenido de álcalis (Na ₂ O equivalente) según EN 480-10 (%)	< 0,6

2.2.4.4 Dynamon SPC-345

Este aditivo es una variación del Dynamon SX-32 por lo que se clasifica como un superplastificante con un ligero acelerante de fraguado.

2.2.5 Agua

Se empleó agua potable, evaluada por la práctica como adecuada para la producción de hormigones, cumple con el apartado 7.7 de la NC 54-2000.

2.3 Descripción del programa experimental y procedimientos

Para el trabajo experimental se tuvieron en cuenta los aspectos contenidos en el documento “Especificaciones técnicas. Traviesas de hormigón pretensado ET 100 -

01/01 de la Unidad Empresarial de Base Travesas, perteneciente a la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIIF)”(Anexo 1).

El esquema general del trabajo comprendió ensayos a nivel de laboratorio y de producción como se muestra en la figura 2.3.

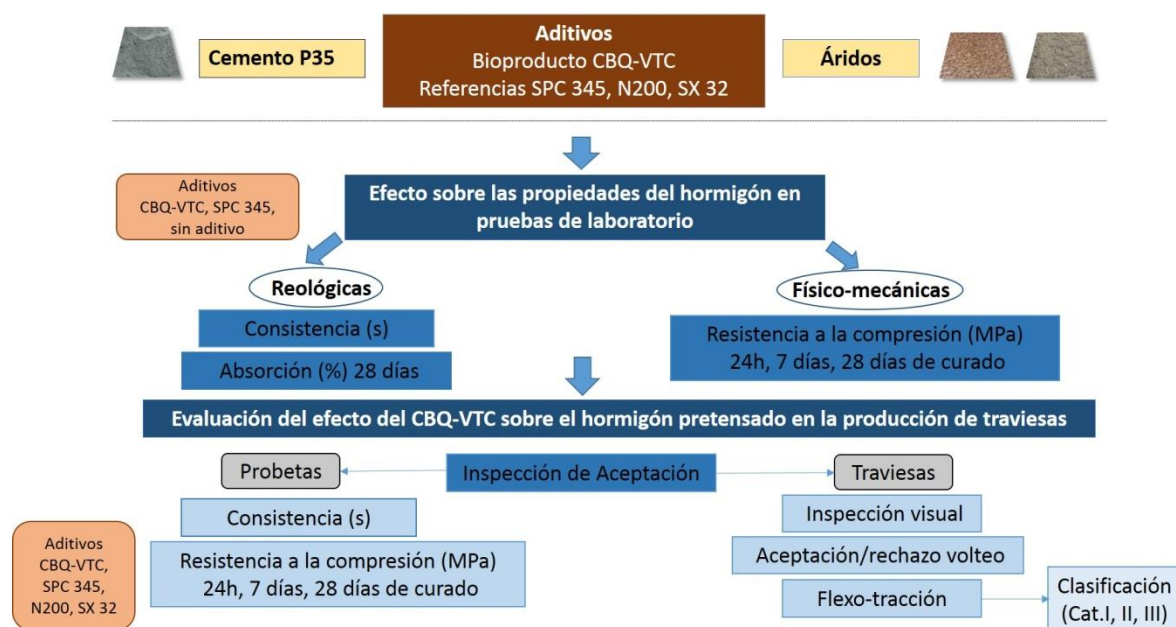


Figura 2.3.Esquema general de trabajo.

2.3.1 Declaración de las variables y parámetros de estado

En el diseño experimental a nivel de laboratorio y producción industrial se definieron variables dependientes, independientes y parámetros de estado que se muestran en la tabla 2.10.

Tabla 2.10. Variables y parámetros del diseño experimental.

Nivel	Variables dependientes	Variables independientes	Parámetros de estado
Laboratorio	Consistencia Resistencia a la compresión Absorción	Tipo de aditivo Dosis	Cemento Áridos Dosificaciones
Producción	Consistencia Resistencia a la compresión Categorización de las traviesas según la resistencia a flexo-tracción Cantidad de traviesas aceptadas/rechazadas en volteo.	Tipo de aditivo Dosis	Cemento Áridos Dosificaciones

2.3.2 Efecto del aditivo CBQ-VTC sobre las propiedades reológicas y físico mecánicas de hormigón a nivel de laboratorio

Con el objetivo de determinar el efecto del aditivo CBQ-VTC sobre las propiedades reológicas (consistencia) y físico mecánicas del hormigón para la elaboración de traviesas (resistencia a la compresión) se realizaron ensayos a nivel de laboratorio en la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIF).

Se utilizaron especímenes elaborados en forma de probetas cúbicas de 100x100x100mm (Figura 2.4).

Los hormigones se fabricaron en una hormigonera de eje vertical de 50 litros de capacidad (Figura 2.4 b) utilizando la dosificación certificada para hormigones de 50 MPa entregada por la ENIA (Tabla 2.11). En todos los casos bajo el principio de mantener un asentamiento de 0-2 cm para consistencia seca, necesaria para la producción del hormigón utilizado en la fabricación de las traviesas.



Figura 2.4. Confección de las probetas utilizadas para los ensayos a nivel de laboratorio.

Se ensayó el aditivo CBQ-VTC y un aditivo comercial (DynamonSPC-345) que se empleó como referencia. Los resultados se compararon con una mezcla de hormigón patrón sin aditivo (Tabla 2.11).

El curado de las probetas se realizó a temperatura ambiente. Posteriormente, se determinó la resistencia a la compresión a las 24h, 7 y 28 días. El ensayo de resistencia a la compresión fue realizado en la prensa del laboratorio de la planta, teniendo en cuenta la NC724:2009 “Ensayos del hormigón-Resistencia del hormigón en estado endurecido” (NC724, 2009).

Al hormigón en estado fresco se le determinó la consistencia y al hormigón endurecido la absorción de agua a los 28 días de curado.

A partir de los resultados se seleccionó una dosis del aditivo para continuar los estudios.

2.3.2.1 Dosificaciones

Para las series del bioproducto CBQ-VTC y el aditivo de referencia se probaron dosis del 1,5 y 2,0% en peso del cemento con tres réplicas en cada serie y patrón sin aditivo. En las dosificaciones con el bioproducto no se hicieron correcciones del contenido de agua.

Tabla 2.11. Dosificaciones para 10L en el laboratorio.

Muestra	Aditivo	Agua (L)	Cemento (kg)	Árido fino (kg)	Árido grueso (kg)	Relación a/c
M1	CBQ-VTC 1,5%	1,899	4,50	8,02	9,80	0,42
M2	CBQ-VTC 2,0%	1,991	4,50	8,02	9,80	0,44
M3	SPC 345 1,0%	1,049	4,50	8,02	9,80	0,23
M4	Patrón sin aditivo	1,980	4,50	8,02	9,80	0,44

Para todos los casos, en el laboratorio se dosificó inicialmente 3,0 L de agua y luego de verter el cemento, el árido fino y el árido grueso en la mezcladora se adicionó aproximadamente la mitad del agua. Posterior a esto se agregó suavemente el aditivo que se deseaba probar y una vez mezclado con el resto de los materiales se incorporaba más agua a tanteo hasta alcanzar la trabajabilidad deseada según la experiencia del operario.

Para saber con precisión la cantidad de agua utilizada según la consistencia alcanzada se restó el agua utilizada a la dosificación inicial de agua (3,0 L).

2.3.2.2 Series de ensayos

Las series empleadas en los ensayos a nivel de laboratorio fueron similares a las utilizadas para el análisis del hormigón de la producción industrial (Tabla.2.12).

Tabla 2.12. Series empleadas en el diseño experimental a nivel de laboratorio con hormigón para ensayos o de la producción industrial.

Serie	Aditivo	Resistencia a la compresión (MPa)			Absorción 28 días (%)
		24 h	7 días	28 días	
01	CBQ-VTC 1,5%	3	3	2	3
02	CBQ-VTC 2,0%	3	3	2	-
03	SPC 345 1%	3	3	2	-
04	SX 32 1%	3	3	2	-
05	N200 1%	3	3	2	-
06	Patrón sin aditivo	3	3	2	3
	Total	18	18	12	6

2.3.3 Evaluación del efecto del CBQ-VTC sobre el hormigón pretensado en la producción industrial de traviesas

Para determinar el efecto del bioproducto CBQ-VTC en el hormigón pretensado para la elaboración de traviesas se produjeron 15 lotes en la línea de producción número 1 de la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIF) (Figura 2.5) que se compararon con lotes de traviesas en las que se emplearon los aditivos comerciales SX-32 (3 lotes), N-200 (8 lotes) y SPC-345 (5 lotes).



Figura 2.5. Línea de producción número 1.

Las dosificaciones de los materiales se correspondieron con las especificaciones técnicas establecidas en la empresa (Tabla 2.13). Los aditivos comerciales se

emplearon al 1,0% en peso del cemento y el bioproducto CBQ-VTC a la dosis seleccionada en base a los resultados de los ensayos del laboratorio.

El volumen de hormigón por traviesa fue de 0,1 m³. Los lotes de traviesas elaboradas se curaron a temperatura ambiente.

Para la inspección de aceptación de las traviesas se efectuaron los siguientes ensayos o análisis:

- De los hormigones elaborados a nivel de producción se retiraron muestras aleatorias a las cuales se les determinó consistencia, se calculó la relación agua/cemento a la consistencia deseada y posteriormente se confeccionaron probetas (tres probetas por lote) para comprobar la resistencia a la compresión (MPa) después del curado a temperatura ambiente.
- Inspección visual
- Aceptación o rechazo en volteo (24h de curado)
- Ensayo de resistencia a flexo-tracción de la Traviesa. A partir de los resultados de este ensayo las traviesas se clasificaron en categorías (I, II, III) de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas en la empresa.

2.3.3.1 Dosificaciones

En la producción industrial de las traviesas se empleó el aditivo CBQ-VTC en dosis del 1,5% en peso del cemento. Las dosificaciones de las mezclas se realizaron de acuerdo con los procedimientos normalizados de la empresa y se muestran en la tabla 2.13

Tabla 2.13. Dosificaciones para la elaboración de 1m³ de hormigón en la producción industrial de traviesas.

Tipo de Lote	Aditivo	Agua (L)	Cemento (kg)	Árido fino (kg)	Árido grueso (kg)	Relación a/c
1	CBQ-VTC 1,5%	2393	450	802	980	0,39
2	SX 32 1,0%	1710	450	802	980	0,38
3	N200 1,0%	1755	450	802	980	0,39
4	SPC 345 1,0%	1710	450	802	980	0,38

2.3.4 Ensayos realizados

2.3.4.1 Ensayo de consistencia

La consistencia se determinó mediante el ensayo en el consistómetro Skramptaev según la norma de la empresa (NEMT-255605, 1987b).

Este es una versión del consistómetro VeBe y el ensayo consiste en forzar la mezcla analizada previamente moldeada en un tronco de cono de Abrams, a que tome la forma de un cubo conocido como cubo Skramptaev (Figura 2.6). Para esto se coloca el molde tronco cónico en el cubo, apoyando la base de mayor diámetro directamente en la cara inferior del cubo, luego con ayuda de un embudo especial para dicho molde se comienza a verter el hormigón objeto de estudio y a compactar con un avarilla. Una vez llenado el molde tronco cónico y correctamente compactado el hormigón se retira el molde y se pone en funcionamiento la mesa vibradora sobre la que descansa todo el conjunto lo que provoca la fluidificación del hormigón y ocasiona el cambio de forma. Se mide el tiempo que tarda el tronco de cono en pasar a la forma del cubo. Ese tiempo se mide en segundos y para hacer una conversión equivalente a la medición con el consistómetro VeBe se multiplica por un factor que depende de varias condiciones en este caso es 0,7 (Gómez, 2015).

- Utensilios, equipos y materiales

Utensilios y equipos:

- Mesa vibradora
- Cubo Skramptaev
- Molde tronco cónico (tronco de cono de Abrams)
- Embudo
- Varilla
- Cuchara

- Vagón (para el caso de los hormigones de la producción se transporta el hormigón desde la línea hasta el laboratorio en un vagón)
- Hormigonera de eje vertical (para los hormigones producidos en el laboratorio)
- Bandejas (verter los materiales a utilizar los hormigones producidos en el laboratorio)
- Balanza digital (tarar los materiales a utilizar para los hormigones producidos en el laboratorio)

Materiales:

- Hormigón elaborado en la línea de producción
- Hormigones de laboratorio:
 - Agua: Cumple con el apartado 7.7 de la NC 54:2000.
 - Cemento: P-350: Procedente de la Empresa Mixta Cementos Cienfuegos SA, fábrica Carlos Marx.
 - Árido fino: Fracción 4,75 mm. Procedente del Yacimiento Arimao, ubicado en Carretera Santa Martina, en la provincia de Cienfuegos.
 - Árido grueso: Fracción 19,0 – 4,75 mm. Procedente de la cantera “Remolida” Mariano Pérez Balí (El Purio).
 - Aditivos.

A nivel de producción: N200, SX32, SPC 345, CBQ-VTC

A nivel de laboratorio: CBQ-VTC, SPC 345

- Procedimiento

Ensayo al hormigón de producción:

1. Se extrae la muestra de hormigón de la línea a un vagón.
2. Se traslada al laboratorio con rapidez.
3. Se monta el consistómetro.
4. Comienza a llenarse y a compactar el molde tronco cónico.

5. Una vez lleno hasta el tope se retira el molde y se pone en funcionamiento la mesa vibradora.
6. Se mide el tiempo (segundos) que tarda el hormigón en cambiar de forma y adecuarse completamente a la forma del cubo con la superficie completamente lisa.

Ensayo al hormigón producido en el laboratorio:

1. Se taran las bandejas que serán utilizadas para los materiales.
2. Luego de vertido cada material a utilizar en la bandeja que le correspondía se pesaron con exactitud en una balanza digital destinada específicamente a estos fines.
3. Una vez pesados todos los materiales se humedeció la mezcladora y se comenzó a mezclar toda la arena, el cemento y el árido grueso.
4. Seguidamente se adicionó aproximadamente la mitad del agua dosificada y suavemente el aditivo que sería empleado en cada caso.
5. Luego se le adiciona agua de la restante en dependencia de la consistencia que alcanza la mezcla a vista. El mezclado se realizó hasta que la mezcla se observó homogénea y laborable.
6. Una vez terminada la mezcla se vierte en un cono de Abrams que descansa sobre un cubo Skramptaev, se compacta con una varilla y se somete a vibraciones en una mesa vibratoria para conocer la consistencia alcanzada.
7. Se mide el tiempo (segundos) que tarda el hormigón en cambiar de forma y adecuarse completamente a la forma del cubo con la superficie completamente lisa.
8. El hormigón que se emplea en este ensayo se vuelve a mezclar con el restante para luego confeccionar las probetas en moldes metálicos que fueron engrasados previamente los cuales se compactan en una mesa vibratoria a 3.000 r.p.m.



Figura 2.6. Ensayo para la determinación de consistencia mediante la norma de empresa en el consistómetro Skramptaev.

2.3.4.2 Ensayo de resistencia a la compresión

Se realizaron ensayos destructivos a los especímenes (probetas cúbicas) con dimensiones de 100x100x100 mm para determinar la resistencia a la compresión según la NC724: 2009“Ensayos del hormigón-Resistencia del hormigón en estado endurecido (NC724, 2009).

El ensayo de resistencia a compresión fue realizado en la prensa del laboratorio de la planta para lo cual las probetas fueron colocadas de forma centrada en los platos de la máquina, se le aplicó una carga continua y sin choques a velocidad uniforme hasta la rotura de la misma. Previo al ensayo de compresión, deben prepararse las superficies de las bases del cubo de manera que resulten paralelas entre sí y al mismo tiempo plano y liso con las tolerancias de norma.

- Utensilios, equipos y materiales

Utensilios y equipos:

-Moldes metálicos

-Prensas

Materiales:

-Hormigón endurecido

- Procedimiento

1- Desmolde de la probeta.

2- Colocación de la probeta en la plancha de la prensa de forma centrada y las caras en que se le dio terminación de forma horizontal o sea perpendicular al sentido de aplicación de la carga.

3-Aplicación continua de la carga hasta la rotura de la probeta, momento en que la pantalla de la prensa muestra el valor de resistencia a la compresión alcanzado.

2.3.4.3 Ensayo de absorción de agua

Este método se utilizó para determinar la absorción de agua por capilaridad en el hormigón endurecido y para su realización se siguió el procedimiento descrito en la norma cubana NC 173:2002.

- Utensilios, equipos y materiales

Utensilios y equipos:

-Tanque de curado

-Frazada

-Balanza digital

-Estufa

Materiales:

-Probetas de hormigón

- Procedimiento

1. Se toman probetas de cada muestra objeto de estudio y se colocan dentro de un tanque de curado durante 24 horas.

2. Se sacan del tanque de curado y se secan con una frazada para eliminar la humedad superficial.
3. Se pesan en una balanza digital con una precisión de 0,01g para obtener el peso saturado de las muestras.
4. Los especímenes se colocan en la estufa a una temperatura de 110°C y son secados durante 24 horas hasta obtener el peso seco.
5. Posteriormente se aplica la siguiente ecuación y se obtiene el porcentaje de absorción:

$$(1) A = 100 \left(\frac{P_{sss} - P_s}{P_s} \right)$$

Donde:

A= porcentaje de absorción

Psss= Masa saturado de muestra

Ps= Masa seco de la muestra

2.3.4.4 Inspección visual

Se realiza una inspección visual por atributos al 100% y por conteo de defectos según las especificaciones técnicas ET 100 – 01/01 de la Empresa. La Travesía deberá presentar una superficie regular y limpia, los apoyos de los rieles no deben presentar desconches o grietas que impidan el apoyo.

2.3.4.5 Ensayo a flexo-tracción de la traviesa

Basándose en las Especificaciones Técnicas vigentes en la empresa se verificó la calidad de las traviesas producidas en la planta a través de la selección de una muestra aleatoria simple de cada lote. Cada elemento de dicha muestra se sometió a una carga en las dos secciones más críticas de la traviesa.

De acuerdo con la resistencia a flexo-tracción alcanzada por las traviesas seleccionadas en la muestra, se clasifican el lote al que pertenecen en primera, segunda o tercera categoría.

- Utensilios, equipos y materiales

Utensilios y equipos:

- Grúa pórtico con capacidad de 50 t.
- Prensa de ensayo a flexo – tracción.

Materiales:

- *Traviesas de hormigón fabricadas.*

Procedimiento

1. Primeramente se realiza el muestreo simple en inspección normal con una NCA de 4 acorde a la NC ISO 2859-1:2003. Para tamaños de lotes de 281-500 se toman 3 elementos como tamaño de muestra mientras que para tamaños de lotes de 501-1200 se escogen 5 (EIIF, 2015).
2. Los elementos seleccionados son sometidos a cargas de flexo-tracción en la zona de bajo carril y la zona central y según la resistencia alcanzada se clasifican en (EIIF, 2015):

Traviesa para vía de categoría I:

- En la Zona Bajo Carril: 12.5 t (min) - 15 t (máx.)
- En la Zona Central: 9 t

Traviesa para vía de categoría II:

- En la Zona Bajo Carril: 9 t (min) – 12 t (máx.)
- En la Zona Central: 5,5 t

Traviesa para vía de categoría III:

- En la Zona Bajo Carril: 7 t (min) – 8.5 t (máx.)
 - En la Zona Central: 5,5 t
3. En dependencia a los resultados anteriores se clasifica todo el lote al que pertenece la muestra y se acepta o rechaza el mismo.

2.4 Análisis de los datos

Los datos obtenidos fueron registrados en los formularios establecidos en la empresa. Se conformaron bases de datos en Excel y se sometieron a análisis estadísticos en el programa SPSS versión 21 para Windows. Se comprobaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas y en los casos en que no se cumplieron se aplicaron pruebas no paramétricas. Las pruebas se realizaron con un nivel de significación de 0,05.

Conclusiones parciales del Capítulo II

1. Las condiciones prevalecientes en la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIF) permiten realizar la evaluación del bioproducto CBQ-VTC como aditivo en la elaboración de traviesas de hormigón pretensado.
2. El bioproducto CBQ-VTC tiene en su composición agua y la no corrección del contenido de agua en la elaboración de los hormigones influye en la dosificación, consistencia y relación a/c alcanzadas a nivel de laboratorio.
3. Con el empleo del aditivo CBQ-VTC se puede elaborar un hormigón para la fabricación de traviesas a escala industrial.

Capítulo III. Análisis de los resultados de la influencia del bioproducto CBQ-VTC como aditivo de hormigón pretensado para la elaboración de traviesas

En este capítulo se realizó el análisis de los resultados del uso del bioproducto CBQ-VTC como aditivo de hormigón en la elaboración de traviesas en la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas. Los resultados tanto a nivel de laboratorio como en la producción indicaron que tiene uso potencial en la fabricación de estos elementos prefabricados.

El efecto del bioproducto se comparó con el de aditivos comerciales y los resultados se contrastaron con la literatura científica.

3.1 Efecto del aditivo CBQ-VTC sobre las propiedades reológicas y físico mecánicas de hormigón a nivel de laboratorio

3.1.1 Ensayo de consistencia

El ensayo de consistencia realizado demostró que con los dos aditivos se alcanzó una consistencia seca de la mezcla. Se mantuvo la trabajabilidad con una reducción del volumen de agua de amasado lo que condujo a relaciones agua/cemento por debajo de 0,4 en el caso de CBQ-VTC adicionado al 1,5% en peso de cemento y el aditivo comercial (Tabla 3.1) aunque con diferencias significativas entre ellos. Una menor relación agua/cemento conduce a incrementos en la resistencia.

Tabla 3.1. Resultados de la consistencia del hormigón a nivel de laboratorio.

Muestra	Aditivo	Consistencia	Consistencia	Relación a/c
		Skrampstaev (s)	VeBe* (s)	
M1	CBQ-VTC 1,5%	58,0 b	40,6 a	0,39 b
M2	CBQ-VTC 2,0%	59,0 b	41,3 a	0,44 a
M3	SPC 345 1,0%	58,0 b	40,6 a	0,36 c

M4	Patrón sin aditivo	40,0 a	28,0 b	0,44 a
----	--------------------	--------	--------	--------

Leyenda: *Consistencia VeBe=Consistencia Skramptaeu x 0,7. Valores en cada columna con letras diferentes indican diferencias entre los rangos medios según las pruebas de Kruskal Wallis/ Mann Withney para $p<0,05$.

3.1.2 Ensayo de resistencia a la compresión

El hormigón elaborado con el bioproducto CBQ-VTC a las dos dosis ensayadas cumplió con los parámetros de resistencia establecidos para hormigones utilizados en la producción de traviesas según las especificaciones técnicas de la Empresa tanto a edades tempranas como tardías (Figura 3.1). A las 24h la resistencia superó 42,5 MPa, a los 7 días 50,8 y a los 28 días 60 MPa. Estos resultados fueron superiores a los informados por Gómez (2015) con otro aditivo biológico obtenido mediante la tecnología de microorganismos eficientes (MEF 32) empleado en la producción de traviesas si se tiene en cuenta que las dosis utilizadas fueron del 2,0 y 3,0% en peso de cemento.

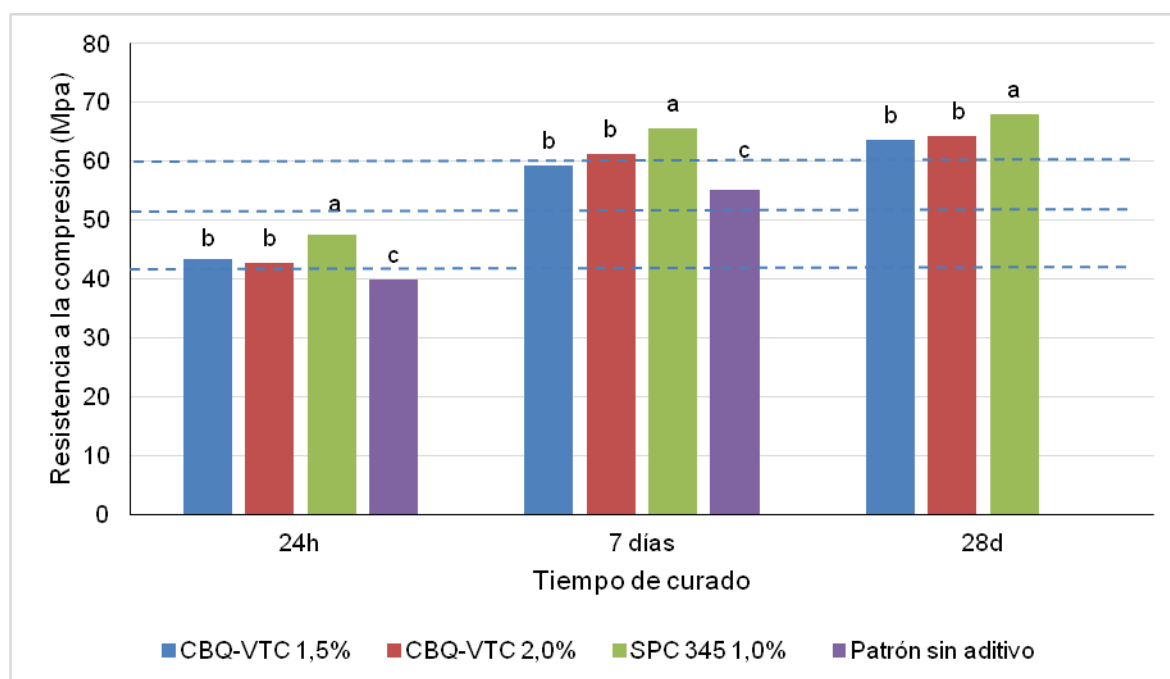


Figura 3.1. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión. Letras diferentes sobre barras para cada tiempo de curado indican diferencias entre rangos medios según las pruebas de Kruskal Wallis/ Mann Withney para $p<0,05$.

No se observaron diferencias significativas para la resistencia a la compresión con las dos dosis del aditivo empleadas pero sí con respecto al aditivo comercial y al patrón sin aditivo. Aunque con el aditivo biológico se alcanzaron valores de resistencia inferiores al aditivo comercial, los resultados indicaron su potencial para el uso en la fabricación de traviesas de hormigón pretensado.

No fue posible contar con los resultados de resistencia a la compresión del patrón sin aditivo a los 28 días.

Atendiendo a los resultados se seleccionó la dosis de 1,5% en peso de cemento del aditivo biológico para continuar los estudios.

3.1.3 Ensayo de Absorción

Se comprobó que la mezcla de hormigón elaborada con el aditivo CBQ-VTC al 1,5% en peso de cemento tuvo menor porcentaje de absorción de agua que el patrón sin aditivo (Figura 3.2) lo cual está en concordancia con los resultados de resistencia a la compresión obtenidos en el acápite anterior.

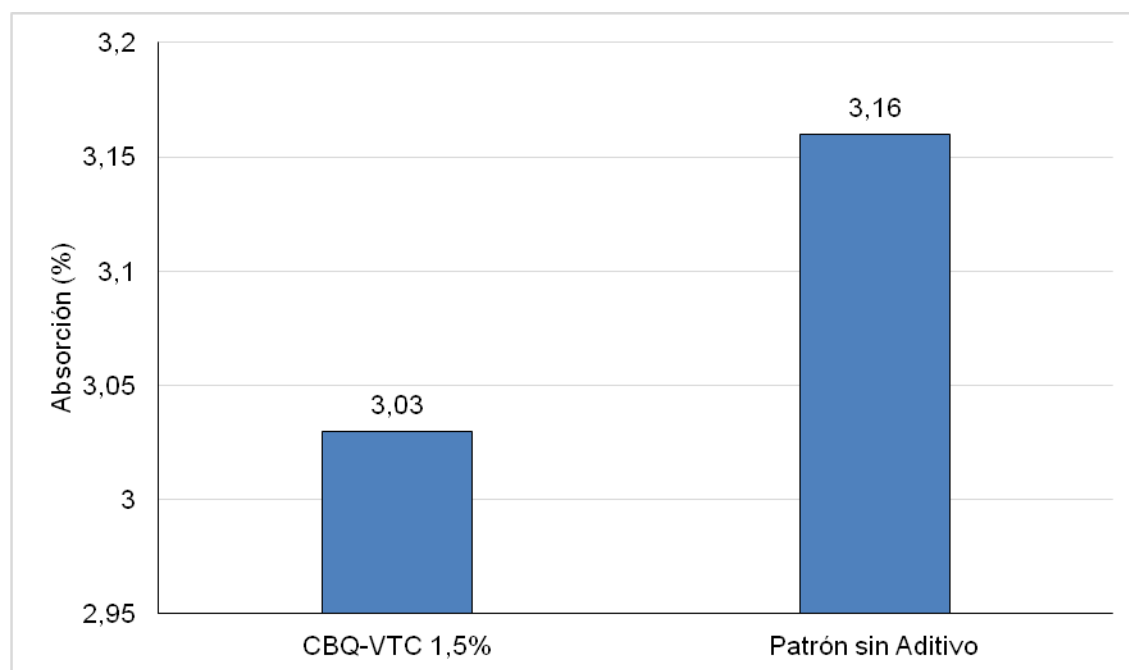


Figura3.2. Resultados del ensayo de absorción.

Los resultados a nivel de laboratorio demostraron que el bioproducto CBQ-VTC modifica las propiedades de las mezclas para la elaboración de hormigón en las cuales se empleó como aditivo. Con respecto al patrón sin aditivo redujo el volumen de agua de amasado necesario para alcanzar la consistencia seca, incrementó la resistencia a la compresión y disminuyó la absorción.

3.2 Evaluación del efecto del CBQ-VTC sobre el hormigón pretensado en la producción de traviesas

La producción de traviesas de hormigón pretensado para el ferrocarril en Cuba es de gran importancia. Cada kilómetro de la línea central requiere de 1840 traviesas. La rehabilitación o ampliación de las líneas férreas implica la reposición de traviesas o la colocación de traviesas de hormigón en nuevas obras para una durabilidad mayor a los 30 años de explotación (Gayoso et al., 2014).

En este estudio se fabricaron 13 lotes de traviesas con el aditivo CBQ-VTC (Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Producción de traviesas de hormigón pretensado.

Aditivo	No. lotes	No. traviesas/lote*	No. total traviesas
CBQ-VTC	13	408	5300
SPC 345	5	546	2732
SX 32	3	409	1228
N200	8	368	2944
Total	29	1731	12204

* Valor medio

Inspección de aceptación

Los resultados de la inspección de aceptación según las especificaciones técnicas de la empresa y con respecto al uso de aditivos comerciales se muestran a continuación.

3.2.1 Probetas

En los ensayos de laboratorio se obtuvieron resultados satisfactorios en las variables evaluadas al hormigón elaborado en la línea de producción con el aditivo biológico. Se alcanzó una trabajabilidad adecuada con relación agua cemento baja y consistencia seca en los lotes evaluados. Las condiciones del laboratorio y el equipamiento disponible fueron acertadas para los fines propuestos (Figura 3.3).



Figura 3.3. Probetas utilizadas para los ensayos a nivel de laboratorio, a-moldes, b- hormigonera; c, d, e, f, g- preparación de las probetas; h, i- curado a temperatura ambiente.

Los resultados de los ensayos de consistencia, absorción y resistencia a la compresión en las probetas cúbicas se detallan a continuación.

3.2.1.1 Ensayo de consistencia

Los análisis de laboratorio del hormigón elaborado en la línea de producción en lotes con los diferentes aditivos mostraron valores de consistencia seca a relaciones agua cemento bajas según las dosificaciones empleadas (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Resultados de los ensayos de consistencia del hormigón de lotes de la producción de traviesas.

Muestra	Aditivo	n (lotes)	Consistencia SkramptaeV (s)	Consistencia* VeBe* (s)	Relación a/c
M1	CBQ-VTC 1,5%	13	50,0 a	35,0 a	0,38 b
M3	SX 32 1,0%	3	51,0 a	36,0 a	0,38 b
M4	N200 1,0%	9	47,0 b	33,0 b	0,39 a
M5	SPC 345 1,0%	5	53,0 a	37,0 a	0,38 b

Leyenda: *Consistencia VeBe=Consistencia SkramptaeV (s) x 0,7. Valores en cada columna con letras diferentes indican diferencias entre los rangos medios según las pruebas de Kruskal Wallis/ Mann Withney para $p < 0,05$

No se observaron diferencias significativas para las variables consistencia y relación agua/cemento entre el aditivo biológico y dos de los aditivos plastificantes comerciales (SX 32 y SPC 345). Este resultado demostró su efecto plastificante a nivel productivo.

3.2.1.2 Ensayo de resistencia a la compresión

En la tabla 3.4 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión alcanzada por el hormigón elaborado con el aditivo biológico CBQ-VTC y el resto de los aditivos comerciales con los que se realizó el estudio a nivel de producción.

Los resultados indicaron que los valores medios de resistencia a la compresión del hormigón en los lotes analizados (13 lotes, 39 probetas) no cumplieron con las especificaciones técnicas de la empresa en el ensayo de laboratorio aunque a los 7 y 28 días no se encontraron diferencias significativas con los resultados del aditivo Dynamon SX32. Estos resultados no concuerdan con los obtenidos a nivel de laboratorio (acápite 3.1).

En un análisis de los estadísticos descriptivos especialmente los valores extremos (máximo y mínimo), la desviación típica y el error típico indicaron que con todos los aditivos se observaron variaciones que no solo podrían estar relacionadas con el tipo de

aditivo y sus propiedades sino con otros elementos del propio proceso tecnológico a escala productiva.

En varios lotes con el aditivo biológico se obtuvieron resistencias superiores a la especificada para la edad del hormigón lo que permite deducir que es posible fabricar hormigones que cumplan con los parámetros de resistencia establecidos en la Empresa Industrial de Instalaciones Fija (EIIF). Sin embargo, aspectos dentro la dosificación, tales como el contenido de agua de amasado, el momento y forma de incorporación del aditivo a la mezcla pudieran también tener influencia en los resultados. El aditivo biológico tiene agua en su composición, por ello se requieren otros estudios que permitan ajustar las dosificaciones actuales en aras de obtener mejores resultados a escala productiva.

Por otra parte, en investigaciones previas se ha comprobado que este aditivo produce cierto retardo en el fraguado del hormigón (Machado, 2015) lo cual pudiera estar influyendo sobre todo en los resultados a edades tempranas.

Tabla 3.4 Resistencia a la compresión (Mpa) de probetas de hormigón de la producción de traviesas.

Tiempo		Aditivos			
		CBQ-VTC 1,5%	SX 32 1,0%	N200 1,0%	SPC 345 1,0%
24 h	n (probetas)	39	9	27	15
	Media	40,1 b	47,2 a	48,9 a	47,4 a
	Error típico	1,0	3,2	0,9	2,2
	Mínimo	31,6	39,0	42,3	35,1
	Máximo	50,5	57,6	55,8	54,3
	Mediana	39,1	46,2	48,6	49,5
	Desv. típica	5,4	7,8	4,0	6,8
7 días	n (probetas)	39	9	27	15
	Media	49,0 c	53,2 bc	55,8 ab	59,5 a
	Error típico	1,2	3,1	0,9	2,3
	Mínimo	32,8	44,9	49,6	45,9
	Máximo	58,1	62,8	61,8	67,2
	Mediana	50,2	52,6	56,5	61,6
	Desv. típica	6,1	7,7	3,6	7,3
28 días	n (probetas)	26	6	18	10
	Media	55,1 c	59,0 bc	62,8 ab	66,7 a
	Error típico	1,3	2,5	0,8	2,7
	Mínimo	37,2	50,6	58,5	51,5
	Máximo	62,2	64,9	68,9	79,0
	Mediana	57,5	61,1	62,5	67,0
	Desv. típica	6,6	6,2	3,3	8,6

Valores en cada fila con letras diferentes indican diferencias entre los rangos medios según las pruebas de Kruskal Wallis/ Mann Withney para $p < 0,05$

3.2.2 Traviesas

Con el empleo del bioproducto CBQ-VTC fue posible fabricar a escala productiva traviesas de hormigón pretensado en la línea 1 de la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas de Santa Clara (Figura 3.4).



Figura 3.4. Línea de producción de traviesas de hormigón pretensado.

3.2.2.1 Inspección visual y aceptación o rechazo en volteo

Se comprobó que más del 90% de las traviesas elaboradas con el aditivo biológico fueron aceptadas en el volteo (Figura 3.5) con porcentajes similares al resto de los aditivos comerciales.

En la inspección visual a las traviesas rechazadas se encontraron los mismos tipos de defectos en las traviesas donde se utilizó el CBQ-VTC para la elaboración del hormigón que los hallados en traviesas producidas con los otros tres aditivos. Entre ellos, oquedades y desconches pero no se observaron grietas.

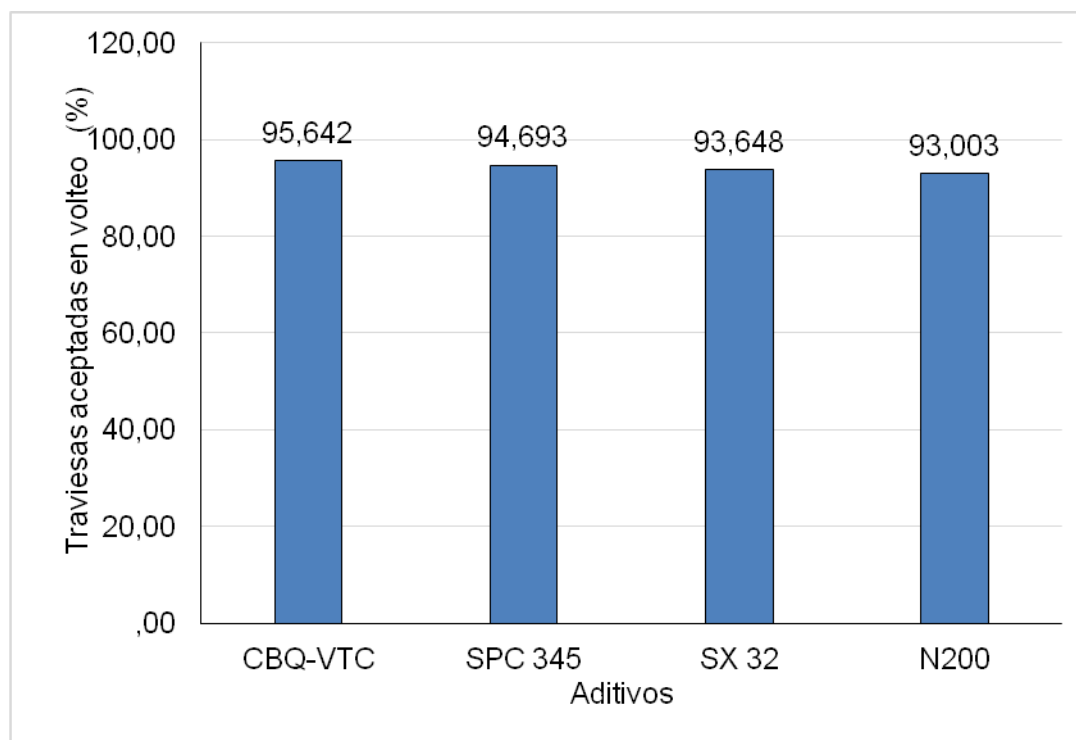


Figura 3.5. Aceptación en el volteo de traviesas de hormigón pretensado en las que se emplearon diferentes aditivos.

Un análisis por lote mostró que de los 13 producidos en solo uno no se alcanzó el 90,0% de aceptación de las traviesas en el volteo (Figura 3.6), y en el resto se encontraban los valores entre 93,0 y 98,8%. Ello fue indicativo de estabilidad en los resultados del trabajo con el aditivo biológico en más de 5000 traviesas.

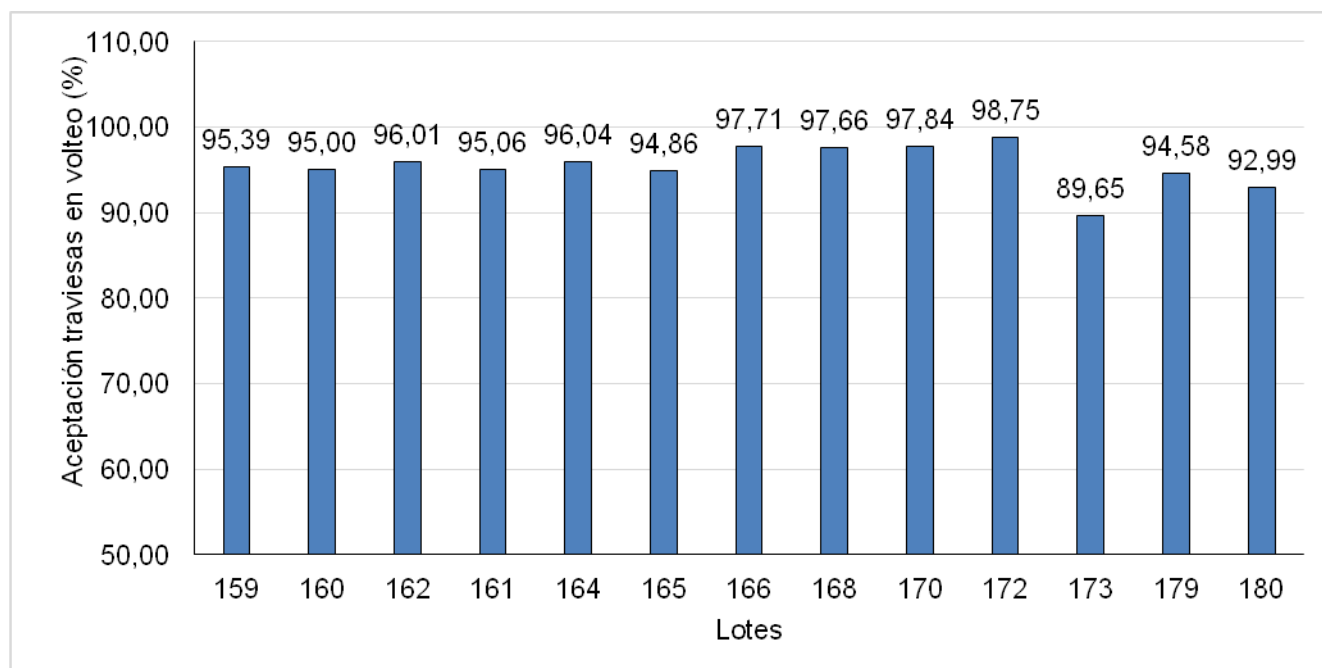


Figura 3.6. Porcentajes de aceptación en el volteo de lotes de traviesas de hormigón pretensado en los que se empleó el aditivo biológico CBQ-VTC.

3.2.2.2 Ensayo de Flexo Tracción de la Traviesa

En el ensayo de resistencia a flexo-tracción se comprobó que con el aditivo biológico se obtuvieron traviesas tanto para vías de categoría I como II aunque la mayoría (80,0%) se clasificaron en el segundo grupo con resultados similares al aditivo comercial suplerplastificante Dynamon SX32. Según las especificaciones técnicas de la empresa las traviesas para vías de categoría I deben resistir en la zona bajo carril entre 12,5 y 15,0 t mientras que las traviesas para vías de categoría II entre 9,0 t y 12,0 t (Figura 3.7).

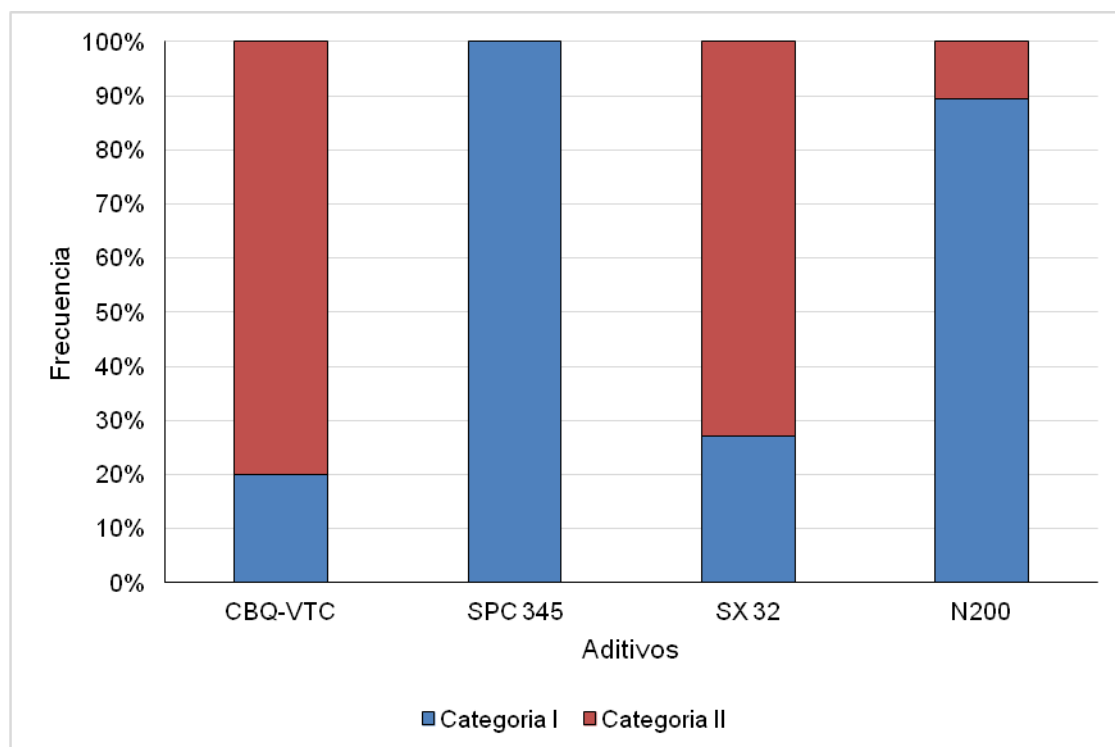


Figura 3.7. Frecuencia de traviesas en cada clasificación de acuerdo con los resultados del ensayo de resistencia a flexo-tracción.

Resultados similares en cuanto a posibilidad de obtener traviesas de categoría I con el uso de un aditivo biológico (MEF 32) informó (Gómez, 2015).

Conclusiones parciales del capítulo III

1. Con el uso del aditivo biológico CBQ-VTC se pueden elaborar a nivel de laboratorio hormigones de consistencia seca con resistencia alta a edades tempranas y tardías.
2. El empleo del aditivo biológico en hormigones a escala productiva, aunque según los resultados de los ensayos de laboratorio no cumple en todos casos con las especificaciones técnicas de resistencia a la compresión, permite fabricar traviesas con elevado porcentaje de aceptación al volteo y que pueden ser utilizadas en vías férreas de categoría I y II.
3. El ajuste de las dosificaciones del aditivo con corrección del contenido de agua podría mejorar los resultados de las propiedades reológicas y físico mecánicas del hormigón.

Conclusiones Generales

1. El bioproducto CBQ-VTC, añadido como aditivo en la fabricación de hormigón, modifica sus propiedades reológicas en estado fresco que permiten alcanzar una consistencia seca con baja relación agua/cemento y posteriormente alta resistencia a la compresión en edades tempranas y tardías.
2. El hormigón elaborado a nivel de laboratorio con el aditivo CBQ-VTC cumple con las especificaciones técnicas para la fabricación de traviesas de hormigón pretensado en ensayos de laboratorio, sin embargo a escala productiva se observan variaciones entre lotes para las propiedades físico-mecánicas.
3. El empleo del aditivo CBQ-VTC a escala productiva en la fabricación de traviesas tiene potencial de aplicación con resultados similares al superplastificante Dynamon SX 32, un elevado índice de aceptación en el volteo y resistencia a flexo-tracción que permite su uso en vías férreas principalmente de categoría II para la circulación de trenes a 100 km/h y carga de 21t.

Recomendaciones

1. Continuar los estudios con el bioproducto CBQ-VTC por el potencial de aplicación en la construcción.
2. Comprobar si el ajuste de las dosificaciones del aditivo con corrección del contenido de agua podría mejorar los resultados de las propiedades reológicas y físico mecánicas del hormigón para la fabricación de traviesas.
3. Comparar el efecto del aditivo en diferentes condiciones de curado del hormigón y ajustar en base a los resultados su dosificación solo o en mezclas con otros aditivos.

Referencias

1. ABREU. 2011. *Análisis del Micro-ben como aditivo plastificante para los Hormigones Autocompactables*. Tesis de pre-grado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
2. ACHAL, V., MUKHERJEE, A. & REDDY, M. 2012. Microbial concrete: way to enhance the durability of building structures. *J Mater Civil Eng*, 23, 730-734.
3. BARTOS 1993. Workability of special concrete mixes. *Materials and Structures* 26(155), 50.
4. BASF 2009. Hormigón de altas prestaciones. Versión 5.1 ed.: BASF Chemical Company.
5. BETANCOURT, S. 2013. Tecnología del hormigón. *Curado y otros tratamientos al hormigón*. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Santa Clara.
6. BRIZUELA, J. A. 2013. *Determinación del efecto plastificante de bioproductos MEF en pastas*. Universidad central "marta abreu" de las villas.
7. CABRERA. 2013. *Influencia de bioproductos MEF sobre propiedades físicas y reológicas de pastas de cemento*. Tesis de Pre-grado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
8. CTDMC, S. O. D. C. T. P. E. D. D. M. D. L. C. 2008. *La traviesa Cuba 71* [Online]. Available: <http://ctdmc.netcons.com.cu/content/category/5/69/50/> [Accessed 10 de marzo 2016].
9. EIIF 2015. Especificaciones técnicas traviesas de hormigón pretensado. *Unidad Empresarial de Base Traviesas*. Santa Clara.
10. ESCRIGA, C. 2010. *Evolución de los sistemas industrializados a base de elementos prefabricados de hormigón*.
11. GAYOSO, R., GUERRA, F., LÓPEZ, J., ROSELL, M. & MARTÍN, A. 2014. Comportamiento microestructural y físico-mecánico de hormigones pretensados colocados en vías ferreas cubanas resultados sobre viabilidad y economía. *Revista Anuales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 4, 1.
12. GHOSH, P., MANDAL, S., CHATTOPADHYAY, B. & PAL, S. 2003. Use of microorganism to improve the strength of cement mortar. *CemConcr Res*, 35, 3.

13. GÓMEZ. 2010. *Uso de plastificantes a partir de microorganismos eficientes en hormigones*. Tesis de Pre-grado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
14. GÓMEZ, E. 2015. *Aditivos a base de Microorganismos Eficientes en la fabricación de traviesas de hormigón*. Tesis de Pre-grado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
15. LUCAS, S. J. 2009. *Ensayos de hormigón en estado fresco y endurecido*. Tesis de curso, Centro de Investigaciones viales.
16. MACHADO. 2015. *Comportamiento del bio-producto CBQ-VTC como aditivo plastificante en pastas*. Tesis de Pre-grado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
17. MARTINEZ, D. 2011. *Hormigones de altas prestaciones*. Proyecto fin de carrera, Universidad Politécnica Cartagena.
18. MARTIRENA, F., RODRIGUEZ-RODRIGUEZ, Y., CALLICO, A., DIAZ, Y., BRACHO, G., HEREIRA, A., GUERRA DE LEON, J., SORELLI, L. & ALVARADO-CAPÓ, Y. 2016. Microorganism-based bioplasticizer for cementitious materials. In: PACHECO-TORGAL F, V. I., N KARAK, H JONKERS (ed.) *Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-Efficient Construction Materials*. Amsterdam: Elsevier.
19. MARTIRENA, F., RODRIGUEZ RODRIGUEZ, Y., GONZALEZ, C., GONZALEZ, R. & ALVARADO-CAPO, Y. 2014. Bioplasticizer for Concrete. *Conference on Application of Superabsorbent Polymers and Other New Admixtures in Concrete Construction*. RILEM Publications Sarl.
20. MATERIALES, I. 2007. *Tipos de hormigón y sus propiedades* [Online]. Escuela de Ingeniería Técnica Civil: Arquitectura Técnica. Available: <http://files.constructoradhr.webnode.cl/200000051-415e842539/Hormigon%20y%20sus%20caracteristicas.pdf>.
21. MINETTI, H. 2008. Diseñar y obtener hormigones durables. *Guía Práctica: Hormigón Elaborado*.
22. MORA LÓPEZ, A. E. 2012. *Evaluación del "IHplus" como bioplastificante en la producción de pastas y morteros*. Universidad centra "Marta abreu" de Las Villas.

- 23.NC54-207 1980. Cemento. Ensayos físicos-mecánicos. OTN.La Habana.
- 24.NC251 2005. Áridos para hormigones hidráulicos-Requisitos.
- 25.NC724 2009. "Ensayos del hormigón-Resistencia del hormigón en estado endurecido".
- 26.NEMT-255605 1987a. Determinación de la consistencia del hormigón fresco por el método del consitómetro Skramptaev. *In*: FIJAS, E. I. D. I. (ed.).
- 27.NEMT-255605 1987b. Determinación de la consistencia del hormigón fresco por el método del consitómetro Skramptaev. FIJAS, E. I. D. I. ed.
- 28.NISCHER, P. 1972. Procedimientos sencillos para la determinación de consistencia y relación agua cemento del hormigón fresco así como del contenido de agua de los áridos. *Materiales de Construcción*, 22, 83- 92.
- 29.ORTA, M. & JARA, F. 2005. *Hormigones de altas prestaciones para túneles*. Tesis de curso, Escuela Superior Politecnica del Litoral.
- 30.PACHECO-TORGAL, F., L, C., M, M., A, K. & CG, G. 2013. Nearly Zero Energy Building Refurbishment. A Multidisciplinary Approach. London.
- 31.PEI, R., LIU, J. & WANG, S. 2015. Use bacterial cell walls as a viscosity-modifying admixture of concrete. *Cement and Concrete Composites*, 55, 186-195.
- 32.PEÑA. 2013. *Propiedades reológicas de morteros y hormigones hidráulicos empleando aditivos bioplastificantes MEF producidos en Cuba*. Tesis Pre-grado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- 33.PÉREZ, A. 2015. Mas traviesas para la remodelación del ferrocarril cubano. *Granma*.
- 34.PLANK, J. 2014. Application of biopolymers and other biotechnological products in building material. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 66, 1-9.
- 35.RAMIREZ, J. 1998. La múltiple identidad del hormigón. *Informes de la Construcción*. 49, 81-85.
- 36.RIVA L, E. 2006. *DURABILIDAD Y PATOLOGIA DEL CONCRETO*

37. RODRIGUEZ. 2014. *Influencia del bioproducto MEF-32 como plastificante en pastas y morteros, utilizando los cementos P-35 (Cienfuegos), PP-25 y B45 (Siguane)*. Tesis de Pre-grado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
38. RODRÍGUEZ LEÓN, J. P. 2014. *Incremento del efecto plastificante del Bioproducto MEF-32 en pastas de cemento P-35*. Universidad central "Marta Abreu" de Las Villas.
39. SCHMITT, S. 2014. *Prefabricados de hormigón a medida*. [Online]. Available: http://www.vollert.de/fileadmin/inhalte/de/02-unternehmen/01_case-studies/01_betonfertigteile/GIC.
40. STABNIKOV, V., VOLODYMYR, I. & JIAN, C. 2015. Construction Biotechnology: a new area of biotechnological research and applications. *World J Microbiol Biotechnol*, 31, 1303-1314.
41. ZANGELMI, E. J. 1999. Caracterización del comportamiento de hormigones de altas prestaciones con y sin fibras metálicas a compresión uniaxial. *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Camino, Canales y Puertos*, 51.

Anexos



UNIDAD EMPRESARIAL DE BASE TRAVIESAS

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

TRAVIESAS DE HORMIGÓN PRETENSADO

ET 100 - 01/01

Elaborado por: Lic. Marays Alfonso Bacallao

Esp. "B" Gestión de la Calidad

Fecha

Revisado por: Lic. Madisley Jiménez Contreras

Jefe Departamento de la Calidad

Fecha

Ing. Esteban Hernández López

Jefe Dpto. Mantenimiento e Inversiones

Fecha

Aprobado por: Ing. Noel Moya Pérez

Sub - Director Técnico- Productivo

Fecha

Ejemplar de Control No. _____

Versión 1

1.0. INDICE.

1.0. Índice.....	2
2.0. Objetivo y Alcance.....	3
3.0. Términos y Definiciones.....	3
4.0. Desarrollo.....	3
5.0 Referencia Bibliográfica.....	7
6.0. Anexos.....	8

2.0. OBJETIVO Y ALCANCE.

El presente documento establece los requisitos técnicos para las Traviesas de Hormigón Pretensado EII 011, producidas en la nueva línea de producción de la Unidad Empresarial de Base Traviesas, perteneciente a la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIIF).

3.0. TERMINOS Y DEFINICIONES.

3.1. Lote: Cantidad de unidades producidas en condiciones homogéneas en un intervalo de tiempo continuo, sometidas a un mismo régimen de trabajo. En la medida de lo posible, cada lote consistirá de elementos de tipo, grado, clase, tamaño y composición únicos, fabricados en condiciones uniformes y esencialmente al mismo tiempo.

3.2. Sublotes: Cantidad de unidades producidas en condiciones homogéneas en un intervalo de tiempo continuo, sometidas a un mismo régimen de trabajo en una línea de producción.

3.3. Traviesas: Componente transversal de la vía férrea que trasmite al balasto la carga aplicada a los rieles y junto con la fijación controla la trocha de la vía.

3.4. Traviesas de hormigón pretensado: Traviesa de hormigón o concreto pre esforzado o sometido a tensiones previas de compresión. El esfuerzo a compresión de la traviesa se obtiene mediante alambres o barras de acero traccionadas con la carga correspondiente y que transmiten el esfuerzo ya sea por adherencia o anclaje o una combinación de ambos.

4.0. DESARROLLO.

4.1. Requisitos de las Traviesas.

4.1.1. Diseño.

Todas las Traviesas que se fabriquen deberán cumplir los requisitos técnicos que se establecen en el presente documento y en los planos correspondientes.

4.1.2. Materia Prima.

La traviesa se deberá elaborar con hormigón M 600 de consistencia fluida, con un volumen de 0,094 m³. Está compuesta por:

- Una armadura de refuerzo con acero de alto límite elástico (ALE) de diámetro 9,5 mm y con perfil periódico.
- Longitud del acero: 2380 ± 2 mm.
- Cantidad de acero por traviesa: 5,20 kg.
- Tensión por hilo: 9100 kg.
- Tensión del grupo de alambres de 36,4 toneladas.

Se permite el uso de aditivos con la debida precaución y siguiendo la indicaciones del fabricante.

4.2. Características Técnicas.

4.2.1. Las Traviesas de Hormigón Pretensado (THP) poseen una longitud total de 2460 ± 10 mm, se utilizan para carril P-50, ancho de trocha 1435 mm, en las transportaciones dentro de la red nacional ferroviaria y arterias fundamentales a las cuales están vinculados otras líneas o ramales. La velocidad máxima permitida es de 140 km/h y la capacidad de carga por eje de 23 t.

4.2.2. La sujeción a emplear está compuesta por la lámina elástica J2 P-50 y los Pernos T, con un torque de apriete de 130 Nm.

- Hormigón de Resistencia a Compresión: 60 MPa en probetas cúbicas de 100x100x100 mm
- **Carga Flectora de control.**
 Extremos (tf) 12.5 t – 15 t (máx.)
 Centro (tf) 9 t

4.2.2. El diseño de la Travesía que soporta estas características se expone en el Anexo No.1. Plano de travesía de 230 kg y carril P-50.

4.3. Clasificación.

La clasificación se realiza en correspondencia a las vías férreas como lo establece la NC 249:2003. Transporte Ferroviario. Vías Férreas. Clasificación de vías férreas. Se clasifica en:

Travesía para Vía de Categoría I:

- **Travesía para carril P-50, Ancho de trocha 1435 mm, velocidad máxima de los trenes de 140 km/h y capacidad de carga por eje de 23 t.**

Travesía para Vía de Categoría II:

- **Travesía para carril P-50, Ancho de trocha 1435 mm, velocidad máxima de los trenes de 100 km/h y capacidad de carga por eje de 21 t.**

Travesía para Vía de Categoría III:

- **Es una Travesía de hormigón pretensado destinada para vías con velocidad de tráfico de hasta 80 km/h y capacidad de carga por eje de 21 ton, con la utilización de carriles P50, P43, P38 y 80, 75, 60 libras por yardas, con autobloqueo de 1435 mm y fijación elástica ajustada al carril con J-2 P50.**
- **Dimensiones Principales:**
 - **Longitud de la Travesía: 2460 mm**
 - **Ancho de la base de la travesía: 300 mm**
 - **Altura de la travesías: 219 mm**
- **Estructura de acero de reforzamiento:**

- **Con 4 hilos de alambre de alto límite elástico y perfil periódico de diámetro 9.5 mm con una tensión de 7600 kg por hilo y 5,3 kg de acero por traviesa.**
- **Cantidad de hormigón por traviesa: 0,1 m³**

4.4. Requisitos de Calidad.

4.4.1. Resistencia a Compresión del Hormigón en probetas cúbicas de 100x100x100mm.

- A 24 horas.....42.5 MPa
- A 7 días.....50.8 MPa
- A 28 días.....60.0 MPa

4.4.2. Resistencia a Flexo Tracción de la Traviesa.

Traviesa para vía de categoría I:

- En la Zona Bajo Carril: 12.5 t (min) - 15 t (max)
- En la Zona Central: 9 t

Traviesa para vía de categoría II:

- En la Zona Bajo Carril: 9 t (min) – 12 t (max)
- En la Zona Central: 5,5 t

Traviesa para vía de categoría III:

- En la Zona Bajo Carril: 7 t (min) – 8.5 t (máx.)
- En la Zona Central: 5,5 t

4.5. Identificación y Marcaje.

4.5.1. Se marca la Traviesa en la superficie superior en alto y bajo relieve (Según Plano) con las siguientes identificaciones:

- Logotipo del Fabricante.
- Número del Molde y Traviesa (en el extremo superior derecho).

4.5.2. Se identifica con pintura el Número del Lote (L) y año posteriormente al volteo de las mismas. Se marcan con una (R) y con una (E) en caso de Rechazo y Ensayo.

4.6. Inspección de Aceptación.

4.6.1. Inspección Visual.

Se realiza una inspección visual por atributos al 100% y por conteo de defectos. La Traviesa deberá presentar una superficie regular y limpia, los apoyos de los rieles no deben presentar desconches o grietas que impidan el apoyo.

4.6.2. Ensayo de Resistencia a Compresión del Hormigón.

4.6.2.1. Para la inspección de las propiedades del hormigón se elabora una muestra de tres probetas cúbicas de 100x100x100mm por Lote de producción, para romper a las diferentes edades que se señalan en el apartado 4.4.1.

4.6.2.2. Si los resultados no se corresponden con los establecidos para cada edad, no se procede a realizar los procesos que continúan hasta que el hormigón adquiera la resistencia establecida.

4.6.3. Ensayo de Flexo Tracción de la Traviesa.

4.6.3.1. Para este ensayo se realizará el plan de muestreo simple en inspección normal, con un NCA de 4 acorde a la NC ISO 2859-1:2003, como se expresa en la siguiente tabla.

Tabla 1. Plan de Muestreo simple en inspección normal.

Tamaño del Lote o Sublote (U)	Tamaño de la Muestra (U)	Se acepta con (U)	Se rechaza con (U)
51 a 90	3	0	1
91 a 150	3	0	1
151 a 280	3	0	1
281 a 500	3	0	1
501 a 1200	5	0	1
1201 a 3200	5	0	1

4.6.3.2. Si la muestra seleccionada para el control no cumple los requisitos, el lote o sublotes puede ser fraccionado en porciones menores y someter las traviesas a un nuevo ensayo que sucederá cuando el hormigón haya alcanzado su resistencia de proyecto a los 28 días.

También se puede aplicar el muestreo doble como se expresa a continuación:

Tabla 2. Plan de muestreo doble en inspección normal.

Muestra	Tamaño de la Muestra (U)	Tamaño de la Muestra Acumulado (U)	Se acepta con A (U)	Se rechaza con (U)
Primera	3	3	0	2
Segunda	3	6	1	2

4.6.3.3. Otros aspectos sobre la toma de muestras: El muestreo del hormigón será de forma aleatoria, diariamente y por turno de producción. Todas las muestras serán sometidas a ensayos y análisis, con los instrumentos y equipos establecidos para cada caso.

4.6.3.4. Al verificar las THP que no satisfaga las condiciones del aspecto, forma y dimensiones debe procederse a verificar y reparar el molde.

5.0. Manipulación, Preservación, Almacenamiento y Transportación.

5.1. La manipulación e izaje de las Traviesas se deben realizar con sumo cuidado para evitar movimientos bruscos e impedir los golpes que provoquen astillamiento y el daño del producto en su estructura.

5.2. Se deben izar las Traviesas utilizando un dispositivo de izaje que sujetará con dos contactos a las mismas para evitar el balanceo, y una posible caída.

5.3. El operador que manipula las traviesas deberá izar con sumo cuidado el producto para que no sea golpeada ninguna parte de los equipos sobre los cuales se trabaja, ni se dañe el producto.

5.4. Los tapones de goma no deberán ser retirados, ni dañados para que la corrosión no penetre en el refuerzo metálico y se garantice la vida útil del elemento.

5.5. Las Traviesas se podrán almacenar sobre calzos, en pilas conformadas por cuantas filas sean posible por 9 columnas siempre y cuando el área donde sean colocadas lo permita, las hileras estarán separadas por listones de madera que impidan el contacto entre cada una.

5.6. Deben almacenarse en un terreno firme, con superficie plana, con buen escurrimiento y drenaje de las aguas pluviales.

6.0. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

NC ISO 2859-1:2003. Procedimiento de muestreo para la inspección por atributos Parte 1: Esquemas de muestreo indexado por el nivel de calidad aceptable (NCA) para la inspección Lote a Lote. ICS: 03.120.20. 1 Edición. Mayo 2003.

NC 249: 2003 Transporte Ferroviario. Vías Férreas. Clasificación de Vías Férreas. ICS: 45.080. 1 Edición Agosto 2003.

ALAF 5-022. Norma para durmiente de hormigón mono bloque. Diciembre 2003.

