**XII Simposio Internacional de Estructuras y Geotecnia 2019**

**XII COLOQUIO DE ANÁLISIS, DISEÑO Y MONITOREO ESTRUCTURAL**

**Determinación de las pérdidas de tensión en los durmientes de hormigón pretensado de la EIIF**

***Determination of tension losses in the prestressed concrete sleepers of the EIIF***

**Jose Luis Llanes Araujo1, Juan José Hernández Santana2**

1-Jose Luis Llanes Araujo. Universidad de Cienfuegos, Cuba. jlllaraujo93@gmail.com:

2-Juan José Hernández Santana. Universidad Central de Las Villas, Cuba. jjhernández@uclv.edu.cu:

**Resumen:**

En la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIF) de la ciudad de Santa Clara no se conoce, ni se cuenta con una metodología para determinar las pérdidas de pretensado en las traviesas que allí se elaboran. El presente trabajo tiene como finalidad exponer una metodología para determinar las pérdidas de tensión en los elementos de dicha entidad de la forma más acertada posible. Con este fin se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica, encontrándose tres métodos principales para la estimación de las pérdidas de tensión en armaduras pretensadas, los mismos se encuentran en la NC-207:2003, la EHE:08 y el ACI- 318:14. Se midieron las deformaciones en la transferencia de un grupo de elementos con y sin armadura para determinar, mediante procedimiento estadístico, cual expresa mayor aproximación en la predicción de las mismas y consecuentemente de las pérdidas en esta etapa.

Entre los principales resultados se pueden destacar que en la transferencia es el ACI-318:14 quien describe de forma representativa los acortamientos elásticos. En cuanto a las pérdidas diferidas es la EHE:08 la de mayores valores, por lo que, trabajando con seguridad y valorando que ofrece una serie de correcciones que no se consideran en los demás métodos, por lo que brinda una mejor representación de las deformaciones reológicas que causan estas pérdidas, se recomienda utilizar este método en esta etapa. Por tanto, se construye una metodología en la que se calculan las pérdidas por acortamiento elástico según el ACI-318:14 y las diferidas según la EHE:08.

***Abstract:***

*In the Fixed Installations Industrial Enterprise (EIIF) of the city of Santa Clara there is no known, nor is there a methodology to determine the losses of prestressing in the sleepers that are produced there. The present work has as purpose to expose a methodology to determine the losses of tension in the elements of this entity in the most successful way possible. To this end, an exhaustive literature review was carried out, finding three main methods for the estimation of stress losses in prestressed reinforcements, these are found in NC-207: 2003, EHE: 08 and ACI-318: 14. The deformations in the transfer of a group of elements with and without reinforcement were measured to determine, by statistical procedure, which expresses a greater approximation in the prediction of the same and consequently of the losses in this stage.*

*Among the main results, it can be highlighted that in the transfer it is the ACI-318: 14 that describes in a representative way the elastic shortening. Regarding the deferred losses, EHE: 08 is the one with the highest values, therefore, working safely and assessing that it offers a series of corrections that are not considered in the other methods, thus providing a better representation of the rheological deformations that cause these losses, it is recommended to use this method in this stage. Therefore, a methodology is constructed in which the elastic shortening losses are calculated according to the ACI-318: 14 and the deferred according to the EHE: 08.*

**Palabras Clave:** Traviesas; Pérdidas; Pretensado; Deformaciones; Retracción; Fluencia.

***Keywords:*** Sleepers, Losses, Prestressed, Deformations, Retraction, Fluency.

**1. Introducción**

A nivel mundial el hormigón pretensado es un material ampliamente utilizado en la construcción. Sea cualquiera la técnica de pretensado que se emplee y en particular con independencia de que se empleen armaduras pretesas o postesas, es inevitable que se produzcan pérdidas en la tensión de las armaduras y por tanto en la fuerza de pretensado.([Calavera, 2005](#_ENREF_5)). Se deben estudiar con el fin de evaluarlas de modo que para cualquier etapa de la vida del elemento, pueda determinarse la fuerza de pretensado que está actuando sobre la sección de hormigón en ese instante.

Las pérdidas pueden deberse al rozamiento en los conductos, a la penetración de anclajes o por acortamiento elástico instantáneo del hormigón, a estas se les conoce como instantáneas, pues ocurren al unísono con la aplicación de la fuerza de pretensado. En los elementos pretesos no ocurren las pérdidas por la primera de las causas mencionadas, pues no se utilizan conductos para la colocación de los aceros. De forma diferida actúan la fluencia y la retracción del hormigón y la relajación del acero luego de su anclaje.

Uno de los usos más difundidos del hormigón pretensado en nuestro país es en la creación de traviesas de hormigón, producidas, principalmente en la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIF), ubicada en la Ciudad de Santa Clara. La problemática que favorece la realización de este estudio es que en la mencionada empresa no se conoce, ni se cuenta con una metodología para hallar las pérdidas que se producen durante las etapas de trabajo de las traviesas elaboradas en dicha entidad, lo cual atenta contra el comportamiento estructural correcto de los durmientes. El objetivo que persigue este trabajo es desarrollar una metodología para determinar las pérdidas de tensión reales que experimentan las traviesas monobloque de hormigón pretensado producidas en la EIIF de Santa Clara. Se pretende contribuir con dicha metodología a caracterizar el comportamiento de las traviesas analizadas en sus etapas de trabajo; así como recopilar información para la creación de herramientas de cálculo automatizadas que prevean el fallo de los durmientes ante posibles variaciones de los materiales, o ante la imposición de nuevas cargas móviles por una modernización de los vehículos ferroviarios del país.

**2. Metodología**

En este trabajo se presenta una investigación científica del tipo descriptiva y comparativa, donde se describen, desarrollan y comparan los métodos expuestos en la EHE-08, la NC-207:2003, y el ACI-318-14 para el cálculo de las pérdidas de tensión en armaduras activas. Se midieron las deformaciones, con galga de espesores, a 24 elementos (12 con armadura activa y 12 sin armadura) en la Línea de Producción # 1 de la EIIF en el momento de la transferencia de esfuerzos, antes del volteo. Los resultados de las mencionadas metodologías en la predicción de las deformaciones debido al acortamiento elástico y la retracción en la transferencia se comparan mediante procedimiento estadístico con las mediciones en planta.

Los cálculos según las diferentes normas para determinar tanto las deformaciones unitarias como las pérdidas fueron realizados mediante hojas de cálculo programadas para este fin en el software Mathcad. Para un mayor entendimiento de la geometría de los durmientes y las secciones de trabajo véanse la figura 1.

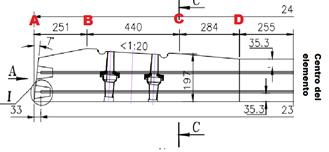


Figura 1. Tramos en que se dividió el elemento para su análisis. Fuente: elaboración propia.

**2.1 Fundamentos para la determinación de pérdidas en el hormigón pretensado**

La magnitud de la fuerza aplicada a la armadura de pretensado mediante los equipos de tesado se modifica a lo largo del elemento durante y después del estiramiento. En realidad se trata de una variable que depende del tiempo en que se quiera evaluar. Se distinguen básicamente dos tipos de variación de la fuerza; la primera debida a las deformaciones que experimenta el acero bajo la acción de las cargas exteriores, y la segunda de las posibles variaciones se conoce como pérdida de la fuerza de pretensado.

**2.1.1 Pérdidas instantáneas**

Ocurren durante el proceso de estiramiento de la armadura activa e inmediatamente después de la transferencia de la fuerza de pretensado a la pieza de hormigón. Para el caso de hormigón pretesado se deben a las siguientes razones:

1. Pérdidas por asentamiento o penetración de anclajes.
2. Pérdidas por acortamiento elástico instantáneo del hormigón.

**2.1.1.1 Pérdidas por asentamiento o penetración de anclajes.**

En el caso de las armaduras pretesas donde no existen elementos de anclaje el efecto Poisson es el mecanismo más importante para que se produzca el anclaje a lo largo de una determinada longitud sin que exista ningún elemento mecánico adicional (la corruga). En el proceso de destesado el alambre o cordón pasa de una tensión 0, en el extremo del elemento, a la tensión inicial de pretensado , a una determinada distancia del extremo, esta longitud se conoce como longitud de transferencia.([Hernández and Gil, 2008](#_ENREF_9)) Según el método del ACI 318: 14 la longitud de transferencia se puede suponer 50 veces el diámetro nominal para torones ó 100 diámetros para alambres. O bien se puede determinar por diferentes métodos, según plantean ([Caneiro and Santana, 2016](#_ENREF_6)) uno de los más completos es el que sugiere el MODEL CODE CEB-FIP, que la define de la manera siguiente:

; siendo:

* :

1,00 para transferencia lenta.

1,25 para transferencia brusca.

* :

1,00 para esfuerzo cortante.

0,5 para la armadura transversal.

* :

0,7 para alambres.

0,5 para torones.

* tensión inicial de gateo.

Donde:

: Longitud básica de anclaje .

: Área del alambre de mayor diámetro.

: Perímetro adherente del alambre de mayor diámetro que se emplee.

: Resistencia a compresión del hormigón en la transferencia.

:

* 1,4 para alambres
* 1,2 para torones

:

* 1,0 para alambres situados a menos de 250mm del fondo de la pieza o a más de 300mm por debajo de la cara superior de hormigonado
* 0,7 las demás posiciones

**2.1.1.2 Pérdida por acortamiento elástico instantáneo del hormigón**

La pérdida por acortamiento elástico instantáneo del hormigón se debe a que al transferirse la fuerza de pretensado a la sección, los cables experimentan un acortamiento producto de la deformación instantánea que sufre el hormigón. A continuación en la tabla 1 se muestran las expresiones que adoptan las normas consideradas para la determinación de esta pérdida.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **NC-207:2003** | **ACI-318-14** | **EHE-08** |
| Donde: | Donde:   * Para elementos pretesados   Siendo:   * Para elementos pretesados | Donde:  Siendo: |

Tabla 1: Expresiones para la determinación de las pérdidas por acortamiento elástico. Fuente: elaboración propia

En las expresiones de la tabla 1:

, y Módulo de deformación del hormigón para la transferencia (en MPa).

, y Resistencia a compresión del hormigón en el momento del destense (en MPa).

y Módulo de deformación del acero de pretensado (en MPa).

, Fuerza de pretensado luego de restar las pérdidas por fricción y en los dispositivos de anclaje.

, y Tensión de compresión, a nivel del centro de gravedad de las armaduras activas, producida por la fuerza o , según corresponda.

Momento debido al peso propio del elemento en la transferencia.

Excentricidad de la armadura.

Área de la sección transversal.

: Área de acero pretensado.

Inercia de la sección.

**2.1.2 Pérdidas diferidas**

Las pérdidas diferidas tienen lugar con el tiempo y se evalúan en el espacio de tiempo transcurrido entre los instantes t1 y t2 de inicio y fin, respectivamente, del período que se esté considerando. Las pérdidas diferidas que tienen lugar son:

a) Pérdida por fluencia del hormigón.

b) Pérdida por retracción del hormigón luego del anclaje.

c) Pérdida por relajación del acero luego de su anclaje.

A continuación, en la tabla 2, se expones las expresiones de la NC-207:2003 y el ACI-318-14, pues estas normas presentan expresiones separadas para cada pérdida diferida.

|  |  |
| --- | --- |
| **NC-207:2003** | **ACI-318-14** |
| **Por Fluencia del Hormigón** | |
| Donde:  Siendo:  para t = ∞ | Donde:  Para pretesado |
| **Por retracción del hormigón luego del anclaje** | |
| Donde:  Para | Donde:  Para elementos pretesados |
| **Pérdida conjunta por fluencia y retracción del hormigón** |  |
|  |
| **Pérdida por relajamiento del acero luego del anclaje** | |
|  |  |

Tabla 2: Expresiones para la determinación de las pérdidas diferidas según la NC-207:2003 y el ACI-318-14. Fuente: elaboración propia

En las expresiones de la tabla 2:

Número de meses transcurridos a partir de la aplicación de la carga

Humedad relativa, (tanto por uno)

Contenido de agua en la mezcla de hormigón, (kg/m3)

Contenido de cemento en la mezcla de hormigón, (kg/m3)

Tiempo transcurrido hasta la aplicación de las cargas, (en días)

Espesor ficticio, que es igual a dos veces el área bruta de la sección dividida por su perímetro (m).

Deformación unitaria por retracción.

Tensión inicial del acero, (MPa).

Relajamiento puro del acero calculado en Mpa.

Momento debido a todas las cargas permanentes una vez transferido el pretensado, y que originan después de producido el momento .

Humedad relativa ambiente (%)

Área bruta de la sección dividida por su perímetro. (mm)

, y para las pérdidas por relajación en el ACI-318-14 se toman de las tablas 24.3 “Valores de Kre y J” y 24.4 “Valores de C” de la mencionada norma

La fluencia del hormigón y la relajación del acero están influenciadas por las propias pérdidas y, por tanto, resulta imprescindible considerar este efecto interactivo. La EHE-08 considera este efecto en una única expresión que incluye todas las pérdidas diferidas, la expresión es la siguiente:

Donde:

* Distancia del centro de gravedad de la armadura al de la sección.
* Inercia de la sección de hormigón.
* Coeficiente de envejecimiento. Para evaluaciones a tiempo infinito .
* Coeficiente de equivalencia.
* Coeficiente de fluencia para una edad de puesta en carga igual a la edad del hormigón en el momento del tesado () , Siendo:
* Coeficiente de desarrollo de la fluencia en el tiempo
* Tiempo en días en que se desea medir las pérdidas diferidas
* Tiempo en días en que se produjo la transferencia. Si la temperatura ambiente en este período es diferente de 20ºC se hará necesario realizar correcciones en , las mismas se harán mediante la expresión:

; donde:

En la que, *tr* es la edad corregida; *Δti* el tiempo durante el cual actúa la temperatura *T(Δti)* y *T(Δti)* la temperatura en cada período *Δti*.

* ; donde es la humedad relativa (%) y el espesor ficticio.
* Coeficiente para la deformación por fluencia base.

; donde:

* Deformación de retracción que se desarrolla tras la operación de tesado

; donde:

* Coeficiente base de retracción.

; siendo:

* Término para determinar el desarrollo de la retracción en el tiempo

; el espesor ficticio en milímetros y la temperatura en grados Celsius.

Siendo la edad del hormigón en el momento en que se desea evaluar la retracción. Mientras es la edad a la que comienza a manifestarse el fenómeno de la retracción que, para los curados habituales y a temperatura ambiente, se puede estimar en 1 día.

* Pérdida por relajación a longitud constante.

; siendo:

Es el valor característico de la fuerza inicial de pretensado, descontadas las pérdidas instantáneas.

El valor de la relajación a longitud constante a tiempo infinito

Para determinar la relajación del acero a longitud constante el fabricante suministrará los valores de la relajación a 120 h y a 1000 h, para tensiones iniciales de 0,6; 0,7 y 0,8 de a temperatura de 20±1ºC y garantizará el valor a 1000 h para = 0,7. Con estos valores de relajación pueden obtenerse los coeficientes K1 y K2 para = 0,6; 0,7 y 0,8. Para obtener la relajación con otro valor de puede interpolarse admitiendo para = 0,5; = 0. Como valor final se tomará el que resulte para la vida estimada de la obra expresada en horas, o 1000000 de horas a falta de este dato. La NC-207:2003 se rige por un procedimiento análogo para la determinación de , solo cambia la nomenclatura.

**3. Resultados y discusión**

**3.1 Principales características de los materiales utilizados; condiciones de fabricación y almacenaje de los durmientes de la Línea de Producción # 1.**

Las características del acero de alto límite elástico (ALE) que se utiliza en la fabricación de los durmientes se exponen en la tabla 3.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Diámetro (mm) | (Mpa) | (Mpa) | (GPa) |
| 9,5 | 1375 | 1570 | 205 |
| Relajación del 2,5% después de las 1000 horas de aplicada la carga, para una carga del 70% la de rotura y 20ºC. | | | |

Tabla 3. Principales características del acero ALE utilizado en la Línea 1. Fuente: EIIF

Es necesario señalar que las barras son corrugadas y no son del largo total del elemento, las mismas miden 2366mm después de aplicada la fuerza de gateo.

A continuación, en la tabla 4, se muestra La resistencia media y la característica en base a probeta cilíndrica de 15x30cm del lote con que se fundieron los elementos ensayados (067-17). Según los resultados del ensayo realizados durante el año 2016 se obtienen los valores de desviación estándar para las diferentes edades y poniendo en práctica lo establecido en la NC-192:2007 se obtienen los resultados de la tabla 4.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Transferencia (1 día) | 7 días | 28 días |
|  | 47MPa | 48MPa | 60MPa |
|  | 39MPa | 41MPa | 54MPa |

Tabla 4. Resistencia media y característica a compresión del lote 067-17 con probeta cilíndrica. Fuente: elaboración propia.

En la elaboración de este hormigón se emplea 450Kg de cemento y 158 litros de agua por m3 de hormigón. Las traviesas se mantienen en la cámara de curado durante un día, a una temperatura de entre 70 y 80ºC y la humedad relativa es entre el 95 y el 100%. En la etapa de almacenaje y explotación, según los valores medios en Cuba, se tiene una humedad relativa del 80% y una temperatura ambiente promedio de 25ºC. A los aceros se les suministra una tensión en la máquina de tesado de 190 bares, expresada para un área base de 40,64cm2, pero como el área de los aceros es de 70,88 mm2 esto equivale a una fuerza de pretensado inicial () de 77,216 kN. La transferencia se realiza de forma lenta, desenroscando los aditamentos de tesado.

**3.2 Resultados de las mediciones de los acortamientos en la transferencia.**

En los durmientes medidos en la planta, donde se puede determinar el acortamiento producido por la retracción pura para el periodo de curado (elementos sin armadura) y el debido a la deformación elástica más dicha retracción (durmientes con armadura activa), se obtuvieron los resultados estadísticos de la tabla 5.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Con Armadura | Sin armadura |
| Promedio | 0,736111 | 0,154167 |
| Varianza | 0,003476 | 0,002481 |
| Desviación Estándar | 0,058961 | 0,049810 |

Tabla 5. Principales resultados estadísticos de las mediciones de los acortamientos en el molde. Fuente: elaboración propia.

**3.3 Deformación por retracción. Comparación con las mediciones en planta**

Realizando los procedimientos descritos con anterioridad, en el apartado 2.1.2, para determinar las deformaciones unitarias para cada sección, multiplicándola por su respectiva longitud y sumando estos últimos resultados, se obtiene así el acortamiento que experimenta el elemento según el método con que se trabaje, alcanzándose los resultados de la tabla 6 para la NC-207:2003 y la EHE-08.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Deformación por retracción (mm) | | | |
| Período | Tiempo (días) | Deformación Total (mm) | |
| NC-207:2003 | EHE-08 |
| Curado | 1 | 0,00380493 | 0,13722678 |
| ∞ | 0,1357396 | 0,5166 |
| Almacenaje | ∞ | 0,34171933 | 0,73062 |

Tabla 6. Resultados de los cálculos para el acortamiento por retracción. Fuente: elaboración propia

Los resultados de la tabla 6 se comparan con las mediciones de los elementos sin armadura (tabla 5) mediante el procedimiento estadístico, descrito por Douglas C. Montgomery en *Diseño y Análisis de Experimentos* Parte I en su acápite 2-4.6 “Comparación de una Media con un Valor Específico”, este método permite determinar si un valor especifico (el determinado por los cálculos) representa o no el valor de una media muestral (determinada por las mediciones en planta). Si el valor modular de es mayor que el valor obtenido por los cálculos no coincide con la media muestral obtenida. Tomando la probabilidad del error del tipo 1, y determinado mediante la expresión ; siendo la media de la muestra, la raíz cuadrada de la varianza muestral, el valor ofrecido por los cálculos con que se desea comparar la media, y es el tamaño de la muestra. Los resultados se muestran en la tabla 7.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | NC-207:2003 | EHE-08 |
|  | 10,457 | 1,178 |
|  | 2,201 | |

Tabla 7. Valores de y para las mediciones en los elementos sin acero y los resultados de las normas para la retracción al día. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 7 las mediciones realizadas no concuerdan con lo expresado en la NC-207:2003, puesto que el módulo de su es mayor que , mientras que se acercan con gran precisión a las expresiones de la EHE-08. Por lo que se puede concluir que para el caso que nos acomete resulta de mejor juicio trabajar con las expresiones de la EHE-08 para determinar las pérdidas por retracción del hormigón, pues además de que se acerca con gran precisión a las mediciones realizadas presenta una mayor deformación para tiempo infinito que la NC-207:2003, resultando más crítica en este aspecto.

**3.4 Deformación por acortamiento elástico. Comparación con las mediciones en planta.**

Para poder comparar las deformaciones instantáneas según las diferentes normas con las mediciones en planta se calcularon las tensiones a nivel de la fibra extrema expuesta en el molde para cada sección analizada, pues es allí donde se realizaron las mediciones en la transferencia. Las deformaciones unitarias debidas a este fenómeno se pueden determinar eliminando de las expresiones del apartado 2.1.1.2 para la determinación de las pérdidas el módulo de deformación del acero ( o ). Los resultados para los acortamientos elásticos se muestran en la tabla 8.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ∆L acortamiento elástico Total (mm) | | |
| NC-207:2003 | ACI-318-14 | EHE-08 |
| 0,618117 | 0,563053 | 0,523341 |

Tabla 8. Acortamiento elástico según las diferentes normas. Fuente: elaboración propia

Para realizar el análisis estadístico comparativo entre se ha de tener en cuenta que en los durmientes con armadura no se midió directamente el acortamiento elástico, sino que en estos se encuentra implícito también la deformación por retracción, ahora bien para determinar el acortamiento instantáneo se restó a la media de las mediciones en los elementos con armadura la media de las mediciones en los elementos sin pretensado. La varianza de este proceso se determinó mediante la propiedad: . El resultado de este procedimiento fue un acortamiento elástico medio de 0,581944 mm y una varianza de 0,002574 mm2.Los resultados de para la comparación se muestran en la tabla 9.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Norma | NC-207:2003 | ACI-318-14 | EHE-08 |
|  | -2,47 | 1,75 | 4,001 |
|  | 2,201 | | |

Tabla 9. Valores de y para las mediciones del acortamiento elástico y los resultados de las normas. Fuente: elaboración propia.

Según la tabla 9 la normativa que resulta representativa de las mediciones realizadas es el ACI-318-14, teniendo gran influencia los coeficientes y que tienen en cuenta el tipo de pretensado y el módulo de deformación secante con que esta trabaja.

**3.5 Longitud de transferencia**

Determinando la longitud de transferencia ( mediante la metodología del MODEL CODE CEB-FIP, descrita en el acápite 2.1.1.1, se tiene que 62 mm. Por otra parte, según ACI 318: 14 sería de 475 mm o 950 mm si se tratara de torones o alambres respectivamente, lo cual parece ser exagerado puesto que las barras son corrugadas; pero ningún método plantea el caso de las barras corrugadas de acero ALE, pues este es un producto relativamente nuevo y poco utilizado en las técnicas de pretensado, por lo que se considera que sea cual fuere la longitud de transferencia será menor que la planteada por estos métodos, aunque se toma para los cálculos siguientes el obtenido por el MODEL CODE CEB-FIP.

**3.6 Pérdidas por acortamiento elástico**

A continuación en la figura 2 se muestran los resultados según las diferentes normas para la pérdida por acortamiento elástico en los durmientes producidos con el lote de hormigón 067-17.

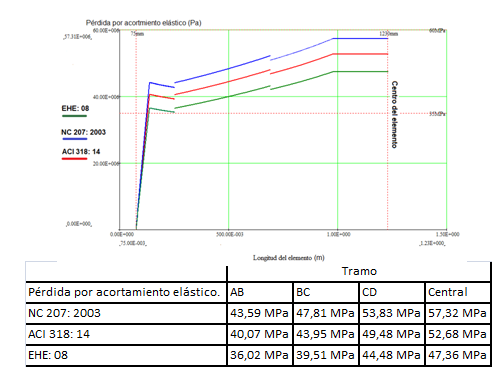


Figura 2. Pérdidas por acortamiento elástico. Fuente: elaboración propia.

Por lo visto anteriormente en la comparación de los valores de acortamiento elástico en la transferencia con las mediciones en planta y ahora en la determinación de las pérdidas se puede plantear que es el del ACI 318: 14 el método más acertado para esta etapa.

### 3.7 Pérdidas diferidas

Como se vio con anterioridad, cada norma ofrece un procedimiento diferente para la determinación de las deformaciones unitarias por retracción y fluencia; además ofrecen diferentes tratamientos para las mismas mediante el uso de coeficientes y expresiones. Por otra parte, no se ha evaluado la influencia de la relajación del acero, por esto se hace necesaria la evaluación de las pérdidas diferidas para tiempo infinito, las cuales se pueden observar en la figura 3.

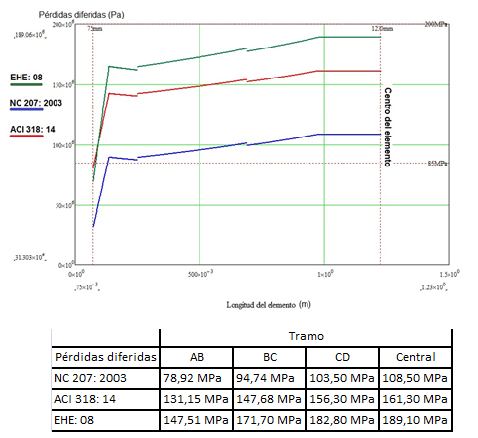


Figura 3. Pérdidas diferidas. Fuente: elaboración propia.

A simple vista es la EHE: 08 la que mayores pérdidas diferidas expresa en su metodología, cuestión esta de esperarse dado que es la que mayores deformaciones enuncia respecto a la retracción. Puesto que esta norma es la que resulta acertada en la predicción de las deformaciones por retracción en la transferencia, trabajando conservadoramente, y teniendo en cuenta que integra una serie de parámetros que describen los procesos de curado y explotación de una forma más integral, se hace favorable trabajar con la EHE: 08 en la determinación de las pérdidas diferidas.

### 3.8 Pérdidas totales

A continuación en la figura 4 se muestran las pérdidas totales para las normas analizadas y se propone un nueva metodología en la que se toman las pérdidas por acortamiento elástico según ACI 318: 14 y las diferidas de la EHE: 08 (con las siglas ES + ∆Pdif). Se llega a esta nueva metodología teniendo en cuenta los resultados hasta aquí expuestos que destacan a estas dos normativas que se combinan como las más acertadas y representativas del caso específico de las traviesas de hormigón pretensado de la EIIF.

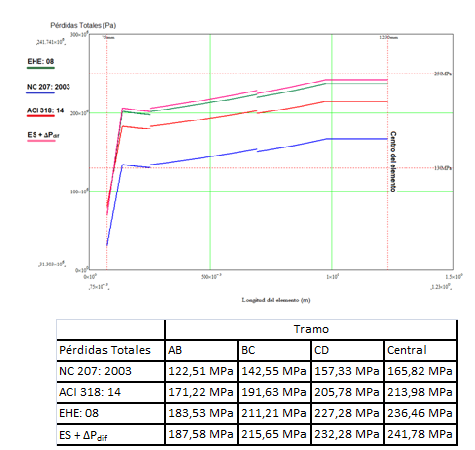


Figura 4. Pérdidas totales. Fuente: elaboración propia.

**4. Conclusiones**

* De los métodos analizados para la determinación del acortamiento elástico el que resulta representativo de las mediciones realizadas es el ACI 318: 14, teniendo gran influencia la forma de determinar el módulo de deformación del hormigón y el tratamiento mediante los diferentes coeficientes que se le da a la tensión en el hormigón, por lo que se recomienda su uso en la determinación de las pérdidas por este fenómeno.
* Analizando las ecuaciones y la cantidad de factores que incluye la EHE-08 en la determinación de las pérdidas diferidas, y que no los incluyen los otros métodos, como lo son la temperatura, la resistencia del hormigón y la velocidad de fraguado, así como su representatividad de la retracción en el periodo de curado se puede concluir que es el método más completo para determinar estas pérdidas.
* Se propone una metodología para la estimación de las pérdidas de los durmientes de la EIIF en la que se determinen las pérdidas por acortamiento elástico según el ACI 318: 14 y las diferidas mediante la EHE-08, pues son los métodos que resultan representativos de las mediciones en la transferencia del pretensado, además se logra una mayor seguridad en el chequeo de las pérdidas, dentro del orden lógico pues varían entre el 17 y el 22 % de la tensión de pretensado inicial.

**5. Referencias bibliográficas**

ACI-318 2014. Requisitos para Hormigón Estructural.

ALEMÁN, E. V. 2016a. *Aplicación del bioproducto CBQ-VTC en las traviesas de hormigón pretensado.*

ALEMÁN, G. S. 2016b. *Chequeo del agotamiento en las traviesas de hormigón pretensado de producción nacional.*, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

BLAY CARRAZANA, V. 2014. Revisión estructural de la traviesa monobloque de hormigón pretensado CUBA71.Chequeo tensional para la etapa de servicio.

BOUZAS CONSUEGRA, J. C. 2015. Cálculo de las cargas y las solicitaciones actuantes en las traviesas.

CALAVERA, J. 2005. Pérdidas de la Fuerza de Pretensado. Fuerza Final de Pretensado. *Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón. Tomo I.*

CANEIRO, J. A. H. & SANTANA, J. J. H. 2016. Hormigón Pretensado. *In:* VARELA, E. U. F. (ed.) *Hormigón Estructural. Tomo II. Parte 2.* La Habana.

EHE 2008. Instrucción de hormigón Estructural.

GMBH, D. K. 2016.

GUYON, Y. 1965. *Hormigón Pretensado*.

HERNÁNDEZ CANEIRO, J. A. & HERNÁNDEZ SANTANA, J. J. *Hormigón Estructural Diseño por Estados Límites. Tomo II*.

LIMA MENÉNDEZ, J. 2011. *Diseño, construcción y conservación de vías férreas.UCLV*.

LIN, T. Y. & BURNS, N. H. 1981. *Desing of Presstressed Concrete Structures*.

LÓPEZ, A. 2006. *Infraestructuras ferroviarias.,* España.

MONTGOMERY, D. C. 2004. *Diseño y Análisis de Experimentos. Parte I*.

MONTGOMEY, D. C. 2004. *Diseño y Análisis de Experimentos. Parte II*.

MONTOYA, P. J., MESEGUER, A. G. & CABRÉ, F. M. 2000. *Hormigón Armado,* Barcelona.

NAWY, E. G. 2003. *Prestressed Concrete a Fundamental Approach*.

NC-192 2007. Cálculo de la Resistencia Característica real a la compresión. *In:* 192 (ed.) *NC 192.*

NC-207 2003. Requisitos Generales para el Diseño y Construcción de Estructuras de Hormigón.

NILSON, A. H. 2001. *Diseño de estructuras de concreto,* Bogotá, Mc GRAW-HILL.

RÜSH, E. H. H. & JUNGWIRT, D. 1982. Consideraciones de la Fluencia y de la Retracción Plástica y de la Retracción de Fraguado Sobre el Comportamiento de las Estructuras Sometidas a Esfuerzos. *Hormigón Armado y Hormigón Pretensado.*

VALVERDE PERALTA, D. J. & ULLAGUARI GUAMAN, K. R. 2015. “ANÁLISIS Y DISEÑO TRIDIMENSIONAL DE ELEMENTOS PRETENSADOS”.