

Comportamiento de Conexiones Compuestas viga-pilar en Perfiles Formados a Frío con Conectores de Tornillo y Rebite con Rosca Interna

V. Quiñonez¹, F. Rodríguez², C. Azevedo³
Departamento de Engenharia de Estruturas
Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Contorno 842, 2º andar - Centro, CEP-30110-060, Belo Horizonte – Minas Gerais, Brasil
<http://www.dees.ufmg.br>

¹angulo_civil@yahoo.com.br, ²francisco@dees.ufmg.br, ³crysthian.purcino@yahoo.com.br

Resumen

En la presente investigación es realizado un análisis teórico-experimental del comportamiento de conexiones compuestas constituidas por vigas cajón y pilares doble cartola – todos en perfiles formados a frío (PFF) – y losas de concreto armado, del proyecto de edificios con hasta 7 pisos según el sistema desarrollado en la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), para viviendas de bajo costo, utilizando los conectores de cizallamiento constituidos de tornillos de cabeza hexagonal y rebite tubular con rosca interna, también desenvuelto en la UFMG. Para esto, fueron determinadas las relaciones entre el momento de la conexión y la rotación relativa de sus partes de los 6 modelos ensayados. A partir de los ensayos de la conexión desenvuelta, quedarán también conocidas su rigidez en la etapa de servicio-útil para el cálculo de las flechas y de los desplazamientos, la resistencia última y la rotación alcanzadas por la conexión, necesarias para obtener la redistribución plástica das tensiones (ductilidad de la conexión). La presente investigación, además de presentar a la comunidad técnica científica el rebite tubular con rosca interna como nuevo medio de conexión entre vigas y pilares, permite la montaje de un banco de datos experimentales que podrá ser utilizado en otras análisis teóricas de conexiones compuestas semi-rígidas, pudiendo también contribuir en las revisiones de las Normas Técnicas Brasileñas, en especial la ABNT NBR 14762:2001 – Dimensionamiento de estructuras de acero constituidas por perfiles formados a frío- Procedimiento.

Palabras claves: *Perfiles formados a frío, conexiones compuestas, rebites tubulares con rosca interna.*

Abstract

In this work, it is presented the results of the theoretical-experimental research accomplished to study the behavior and the resistance of composite semi-rigid connections with extended plate, designed for a structure in cold-formed steel profiles of seven-story low cost buildings using as fastener the bolt and the tubular rivet with inner thread to shear connector. Therefore, the non-linearity behavior due to the presence of semi-rigid connections are taking into account by making some adjustments of the formulations presented by Leon, R. T., e Ammerman, D. J. The present investigation, like show to the scientific technical community rebite tubular with new internal spiral like of connection between beams and column, allows the assembly of an experimental data bank that could be used in other theoretical analyses of semi-rigid composite connections, also being able to contribute in the revisions of the Brazilian Practical standard, especially ABNT NBR 14762:2001 - Sizing of steels constituted by formed profiles to cold Procedure.

Keywords: *composite semi-rigid connections, cold-formed steel profiles, tubular rivet with inner thread, shear connection.*

1. Introducción

Los perfiles de acero formados a frío (PFF) están en uso creciente. La intensa utilización de los PFF en la construcción civil viene de su bajo costo de fabricación, montaje y transporte, como resultado se obtienen estructuras más livianas, posee también versatilidad para trabajar en conjunto con otros sistemas estructurales y perfiles oriundos de otros procesos de fabricación.

Los PFF todavía presentan ventajas en cuanto al escoger el tipo de sección transversal, que puede asumir las más variadas formas geométricas, siendo fabricadas a través de equipamientos simples cuando comparados a las instalaciones necesarias para la producción de otros perfiles. Entre tanto, atención especial debe ser dada a la optimización de la estructura, que debe envolver la concepción y principalmente, el tipo de conexión, para compatibilizar las ventajas que los perfiles formados a frío ofrecen.

Para el uso en programas de habitación popular, las viviendas deben tener su costo reducido al mínimo, sin pérdida de seguridad y funcionalidad. Con esto, todas las soluciones técnicas de la ingeniería deben ser aplicadas para mejorar cada vez más los proyectos.

Uno de los análisis que pueden ser hechos para reducir el consumo de acero en las estructuras en PFF, y consecuentemente el costo de ejecución, es el estudio de la semi-rigidez de sus conexiones y la consideración del sistema compuesto de acero y concreto, con la participación de la losa de concreto armado en la región de unión entre las vigas y entre estos y los pilares. Tales conexiones son de ejecución más simple, tienen menor costo si comparados al de las conexiones rígidas que proporcionan mayor rigidez en las estructuras en comparación con las conexiones flexibles, eliminando en muchos casos el uso de contraventamientos por medio de barras. La mayoría de investigaciones realizadas hasta hoy sobre conexiones compuesta de acero y concreto, fue direccionada a estructuras de perfiles laminados o soldados. Entonces, como no hay un número suficiente de resultados de investigaciones del comportamiento de estas conexiones en estructuras en PFF. Por esto, no está definido de una manera satisfactoria su comportamiento, lo que resulta en falta de herramientas para tratarlas en el dimensionamiento o análisis estructural como conexiones compuestas.

Las normas técnicas de dimensionamiento de PFF, inclusive las normas extranjeras de reconocimiento internacional, no consideran en ningún tópico de sus prescripciones este tipo de conexión.

Las investigaciones en estos casos se muestran necesarias para la obtención de datos sobre las conexiones en este tipo de estructura, y con esto, proporcionar un proceso de cálculo más preciso y económico.

Los conectores de cizallamiento usados en la presente investigación son rebites tubulares con rocas interna combinados con tornillos de cabeza hexagonal, como resultado de la reciente investigación concluida por Bremer [1], sobre el comportamiento de vigas compuestas en PFF y losa con forma de acero incorporado (steel deck). Como ventajas este conector presenta: Montaje por un único acceso; no requiere de operador especializado; superficie acabada sin operaciones secundarias; fija materiales diferentes inclusive varias chapas, sin calentamiento, distorsiones y humo; proporciona rosca en chapa fina; baja inversión. Instalación simple y rápida, puede ser aplicado en línea de montaje; posicionamiento preciso; alta resistencia en la rosca; posee 2 funciones: remache, atornillamiento, y bajo consumo de energía.

2. Programa Experimental

2.1. Introducción

En este capítulo es presentado de manera resumida el programa experimental de la investigación como el objetivo general es la realización de ensayos para la determinación del comportamiento de conexiones compuestas de acero y concreto en PFF, trabajando en la menor inercia del pilar. Para proveer la interacción entre el acero y el concreto en una viga compuesta, fueron utilizados conectores de cizallamiento constituidos por tornillos con cabeza hexagonal fijados a la mesa superior de la viga por medio de rebites tubulares con rosca interna, para resistir las fuerzas de cizallamiento longitudinal y las fuerzas verticales que tienden a separar los dos componentes del sistema compuesto (uplift).

Por cuestión de dimensionamiento y viabilización de montaje, el ángulo fue substituido por el conjunto formado por la chapa de refuerzo de la misma inferior de la viga y a la parte inferior de la chapa de extremidad soldada en las almas de la viga. En las figuras 1 e 2 pueden ser observadas las diferencias de montaje de los modelos en el primer caso usando chapas en la región próxima a la conexión, y en el otro caso fueron usados ángulos en la región de la conexión respectivamente.

Todas las conexiones analizadas en el presente trabajo fueron ensayados en el Laboratorio de Análisis experimental de Estructuras (LAEES) del Departamento de Ingeniería de Estructuras de la UFMG. Los modelos testados fueron proyectados con base al edificio del programa habitacional para la Compañía de Desarrollo Habitacional y Urbano de São Paulo, según el cual fueron construidos aproximadamente 400 edificios, en conjunto con la Usiminas.

2.2. Esquema General del Ensayo

La figura 1 presenta la configuración básica de los ensayos de conexiones compuestas, con la viga invertida para la simulación de momento negativo en la región de la conexión, donde se puede notar que las extremidades de los modelos fueron apoyados de modo que apenas solo desplazamiento vertical quedase impedidos. Para esto, los modelos fueron posicionados sobre barras redondas en placas de acero gruesas, y estas sobre las vigas de acero que, por su vez, se apoyaban en los bloques de concreto.



Figura 1. Configuración básica de los ensayos e condición de extremidad adoptada en los modelos.

2.3. Descripción de los modelos

Los detalles de los modelos de las conexiones del Tipo A y del tipo BE, según el eje de menor inercia de la sección transversal del pilar.

Fueron seleccionados para los modelos dimensiones de vigas y pilares de los proyectos reales de los edificios citados en 2.1. Así, los perfiles utilizados para los pilares son del tipo doble cartola endurecido 154x154x30x3,75, y las vigas son formadas por perfiles tipo doble "U" endurecido 150x150x20x2,0 (edificios de 5 pisos) y 250x130x20x2,0 (edificios de 7 pisos), todos en acero USI SAC – 300, de la Usiminas, con resistencia de cedencia de, f_y , igual a 300 Mpa y la resistencia a la ruptura de tracción, f_u , igual a 400 MPa. Para el concreto armado fue adoptada la resistencia característica a compresión de, f_{ck} , de 20 MPa.

Durante el primer ensayo realizado fue observado el mecanismo de pandeo local en la alma de la viga, en la región de la conexión. Así, fue decidido colocar enrijecedores en la alma de la viga para intentar evitar que los datos medidos en la región de la conexión fueran alterados por la deformada en forma de onda producida en aquel local. Fueron también colocados

enrijecedores en la región del apoyo del modelo para evitar web-crippling en la viga.

Con relación a las variables que fueron consideradas en el proyecto se puede citar que :

El grado de interacción entre la losa de concreto y la viga de acero fue mantenida constante en todos los ensayos. Esto quiere decir que, en los seis modelos, fueron usados los mismos números de conectores y distancia entre ellos.

La carga aplicada en el pilar fue puntual y estática. En las conexiones fueron usados tornillos de alta resistencia ASTM A325, con diámetro de 1/2", siendo apretados con el esfuerzo máximo de un operario usando una llave normal, para así garantizar el firme contacto entre las partes conectadas, siguiendo las especificaciones de la ABNT NBR 8800:1986 [2].

Las losas eran de concreto armado, moldadas in-situ, con una espesura media de 7 cm. La armadura negativa era de acero CA-50, con 6,3mm de diámetro en la dirección transversal. Para la armadura positiva fue también utilizado acero CA-50 con diámetro de 5 mm en ambas direcciones.

La resistencia característica del concreto f_{ck} , puede 20 MPa.

La nomenclatura adoptada en el programa experimental, siendo cuatro modelos con altura de viga 190mm llamados Tipo A y dos con altura de viga de 250mm llamados tipo BE.

2.4 Instrumentación de los ensayos

A seguir, es detallada la instrumentación usada en el programa experimental de la presente investigación:

a) Transductores de desplazamiento (DT) marca Kyowa, con cursor de 50mm y voltaje de excitación de $\pm 2,5$ V, conforme Figura 2, para medir los deslizamientos entre el acero y el concreto.



Figura 2. Transductores de desplazamiento (DT) para medición del deslizamiento relativo entre el acero y el concreto.

b) Transdutor de desplazamiento (DT) marca Kyowa, con cursor de 100 mm y voltaje de excitación de ± 2.5 V, posicionado conforme Figura 3, para medir el

desplazamiento vertical de la sección central del modelo durante el ensayo.



Figura 3. Transductor de desplazamiento (DT) vertical en la sección central del modelo.

c) Transductores de desplazamiento (DT) marca Kyowa, con cursor de 30mm y voltaje de excitación de ± 2.5 V, posicionados conforme Figura 4, para medir la rotación relativa en la conexión del modelo.



Figura 4. Transductores de desplazamiento (DT) de la conexión.

d) Relojes comparadores (RC) marca Mitutoyo, con precisión de 0,01 mm, posicionados conforme muestra en la figura 5, para medir la rotación relativa de la conexión del modelo.



Figura 5. Relojes comparadores (RC) para medir la rotación relativa de la conexión.

e) Relojes comparadores (RC) marca Mitutoyo, con precisión de 0,01 mm, posicionados conforme la Figura 6, usados para la medición de deformación en el concreto.



Figura 6. Relojes comparadores (RC) usados como extensómetros mecánicos.

f) Extensómetros eléctricos de resistencia (EER) para la medición de las deformaciones del modelo, siendo instrumentados algunos puntos en la mesa superior, en la mesa inferior y en la alma de la viga, así como en las barras de la losa. Las conexiones entre los terminales de los EER fueron de $\frac{1}{4}$ de puente y tres cables, conforme la Figura 7, de modo a minimizar el efecto de la variación de temperatura.



Figura 7. Extensómetros eléctricos de resistencia (EER) pegados en la mesa y la alma de la viga.

Para la medición de las deformaciones en el concreto con una base de medida mayor, fueron utilizados relojes comparadores (RC) para la composición de extensómetros mecánicos, con los RC's posicionados en el alma del pilar y la extremidad de sus cursores a 40 cm de esta, en ambos lados del modelo, conforme muestra la Figura 8.



Figura 8. Extensómetro mecánico compuesto por relojes comparador (RC) para medición de la deformación del concreto.

En la Figura 9 están representadas esquemáticamente las posiciones de los medidores de deformación en el modelo, siendo:

DN: Extensómetro mecánico Norte;
 DS: Extensómetro mecánico Sur;
 EBE: Extensómetro eléctrico en la Barra Izquierda;
 EBD: Extensómetro eléctrico en la Barra Derecha;
 EMSV: Extensómetro eléctrico en la Mesa Superior de la Viga;
 EASV: Extensómetro eléctrico en la parte Superior del alma de la Viga;
 EAMV: Extensómetro eléctrico a media altura del alma de la Viga;
 EMIV: Extensómetro eléctrico en la Mesa Inferior de la Viga.

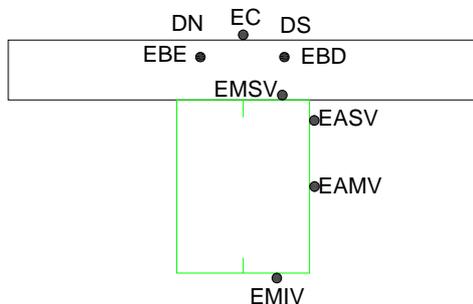


Figura 9. Posicionamiento de los extensómetros en los modelos de viga compuesta.

Para aplicación de la carga, se utilizó un actuador hidráulico con capacidad de 300 kN y un cursor de 150 mm, conectado a una bomba manual. En la salida de la bomba, fueron colocados manómetros para monitorear visualmente la presión en el circuito hidráulico, y un transductor de presión por medio del cual fueron hechas electrónicamente las lecturas de la carga.

3. Presentación y análisis de resultados

3.1 Propiedades mecánicas de los materiales

Para la determinación experimental de las propiedades mecánicas del acero y de los modelos ensayados, fueron realizados ensayos de tracción en los cuerpos de prueba en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Escuela de Ingeniería de la UFMG, siendo utilizada la máquina Instron 5582 para la aplicación de las cargas. Estos ensayos fueron realizados después de la conformación de los perfiles, siendo que los cuerpos de prueba fueron extraídos en la región central de sus almas. Las dimensiones de los cuerpos de prueba (CP) y los procedimientos de ensayos siguieron las prescripciones de la ANBT BBR

6152:1992 [4]. Fueron ensayados ocho CP retirados de las vigas y de los pilares que forman los modelos. En la tabla 2 son mostrados los resultados de cada ensayo y las medidas encontradas

Tabla 1 - Resultados de los ensayos de los cuerpos de prueba de los perfiles.

CUERPO DE PRUEBA	f_{yexp} (MPa)	f_{uexp} (MPa)
CP1P01	387	494
CP2P01	385	493
CP1P04	360	480
CP2P04	359	476
CPVS1	455	553
CPVS2	447	552
CPPP1	400	497
CPPP2	377	489
Media	396	504

En la tabla 1, f_{yexp} es la resistencia a la cadencia y f_{uexp} es la resistencia última a la ruptura a tracción, determinadas experimentalmente. Para la deformación residual después de la ruptura fue determinado el valor de 36%. Cuanto a las armaduras, fueron ensayados 3 cuerpos de pruebas retirados del lote de barras de la armadura de la losa de los modelos, siendo determinado para f_{yexp} el valor medio de 525,70 MPa.

Los rebites tubulares con rosca interna, fabricados por el proceso de estampaje, y utilizados en combinación con tornillos de cabeza hexagonal, era del tipo RIVKLE M12x1,5 PO300, fabricado con acero SAE 1040 templado, presentando los siguientes valores mínimos para las propiedades mecánicas después el trabajo a frío: resistencia al torque = 80 kN.m y la resistencia a la tracción = 55kN.

El módulo de elasticidad del concreto, E_c , fue determinado directamente a partir de los ensayos de compresión de los cuerpos de prueba cilíndricos, y también con uso de la Ecuación 1, de acuerdo con la ABNT NBR 6118:2003 [4].

$$E_c = 4760 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

Con E_c e f_{ck} dados en megapascal.

Los valores medios obtenidos para las resistencias del concreto en los días de ensayo, f_{cj} , y los respectivos módulos de elasticidad son presentados en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades mecánicas del concreto, en valores medios, en el día del respectivo ensayo del modelo.

Modelo	f_{cj} (MPa)	E_c (MPa)
1A	26,06	22.388
2A	18,22	
3A	15,44	
4A	19,67	
1BE	25,26	-
2 BE	28,08	

3.2 Resultados Experimentales y Previsiones Teóricas

En este capítulo son presentados los resultados experimentales en función de las Curvas Momento-Rotación de la conexión analizada a partir de las inspecciones visuales y de las lecturas obtenidas con DT vertical instalado en la región central del modelo, siendo presentados los cálculos de rotación de la conexión, con las correcciones necesarias para llevar en consideración la deformación elástica de la viga (Ecuaciones 2 a 4).

En función de los desplazamientos medidos con el DT vertical, se tiene:

$$\delta_{lig} = \delta_{medido} - \delta_{elástico} \quad (2)$$

$$\delta_{elástico} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (3)$$

$$\theta_{lig} = \frac{\delta_{lig}}{\frac{L}{2}} \quad (4)$$

δ_{medido} es el desplazamiento vertical medido con el DT; $\delta_{elástico}$ es el desplazamiento vertical debido a la deformación ver elástica de la viga.;P es una carga aplicada en el pilar; I es el momento de inercia de la sección compuesta sujeta a momento negativo y E es el módulo de elasticidad del acero.

La rigidez inicial de la conexión es determinada por la relación entre el momento de servicio y la rotación relativa de servicio, siendo el momento de servicio 2/3 del valor del momento último resistente de la conexión.

Visando calibrar una metodología de cálculo para la previsión teórica del comportamiento Momento-Rotación de la conexión propuesta en la presente investigación, se considera aquí una adaptación para la ecuación propuesta de LEON [7] para momento negativo, para los modelos ensayados, que son fabricados con perfiles formados a frío.

$$M_n^- = C_1(1 - e^{-C_2 \cdot \phi}) + C_3 \cdot \phi \quad (5)$$

donde:

$$C_1 = \beta_1(\beta_5 A_s F_{yrb} + \beta_2 A_1 F_y)(d + y_3) \quad (6)$$

$$C_2 = \beta_3 \quad (7)$$

$$C_3 = \beta_4(A_1 + A_{wl})F_y(d + y_3) \quad (8)$$

Siendo:

ϕ = rotación de la extremidades de la viga, en miliradiano;

d = altura da viga, en pulgadas;

y_3 = distancia da fase superior de la viga hasta el centro de gravedad da armadura presente en la losa de concreto;

A_s = área de la armadura de acero en el concreto;

A_1 = área del ala horizontal del ángulo inferior, en una sección perpendicular al eje de la viga;

A_{wl} = área bruta de las alas de ángulo atornilladas en el alma da viga, en una sección perpendicular al eje de la viga;

F_{yrb} = tensión de fluencia da armadura;

F_y = tensión a la cedencia de los ángulos y de las chapas de conexión

La ecuación de LEON [7] es compuesta de dos partes: la primera lleva en consideración la armadura presente en la losa, y la segunda parte lleva en consideración el ángulo de la conexión. En esta conexión, los coeficientes β_i asumen los siguientes valores:

$$\beta_1 = 0,180; \quad \beta_2 = 0,857;$$

$$\beta_3 = 0,775; \quad \beta_4 = 0,007 \quad \beta_5 = 4,000$$

Teniendo como base las curvas experimentales momento-rotación de las conexiones ensayadas, obtenidas a partir de las lecturas como el DT vertical, fueron hechos ajustes en los coeficientes β_i frente a la serie de datos de forma a obtener mejor concordancia entre los resultados teóricos y los experimentales, encontrando se valores ajustados para los coeficientes para la ecuación de LEON [7]. Por lo tanto, se hace en la ecuación la introducción de los parámetros β_i (i de 1 a 5) – ecuaciones 5 a 8, los cuales son ajustados por el método de Levenberg-Marquardt [9]. Conforme PIMENTA [10], a través del método se encuentran los mejores coeficientes para el ajuste, utilizando se para esto, datos obtenidos en ensayos experimentales. El método de Levenberg-Marquardt, se basa en el concepto de estimador de vecino próximo, realizando una interpolación óptima de la serie de Taylor y el método del gradiente.

En este trabajo, el método es empleado por medio de la rutina DR2LIN implementada en Fortran en la Biblioteca IMSL, por PIMENTA [10].

Los análisis hechas para la determinación de β_i (i de 1 a 5) fueron consideradas satisfactorias, todavía que en una fase de ajustes de las previsiones teóricas, siendo necesarios más ensayos para una mejor calibración de la ecuación. Los valores obtenidos fueron:

- para los modelos de la Serie A.

$$\beta_1 = 0,339; \beta_2 = 0,100 ;$$

$$\beta_3 = 0,311; \beta_4 = 0,016 \quad \beta_5 = 3,894$$

- para los modelos de la Serie BE.

$$\beta_1 = 0,326; \beta_2 = 0,100 ;$$

$$\beta_3 = 0,429; \beta_4 = 0,000308 \quad \beta_5 = 4,480$$

Con estos coeficientes, fueron trazadas las curvas teóricas juntamente con las experimentales de las respuestas Momento-Rotación de los modelos, conforme las Figuras 10 y 11.

Observando estas figuras, se verifica que las previsiones teóricas obtenidas con los coeficientes de LEON ajustados presentan buena concordancia con los resultados experimentales de QUIÑONEZ [8].

Se debe destacar que la ecuación propuesta por LEON [7] no lleva ninguna consideración de parámetros como resistencia a compresión del concreto y la influencia de la interacción total o parcial del sistema compuesto.

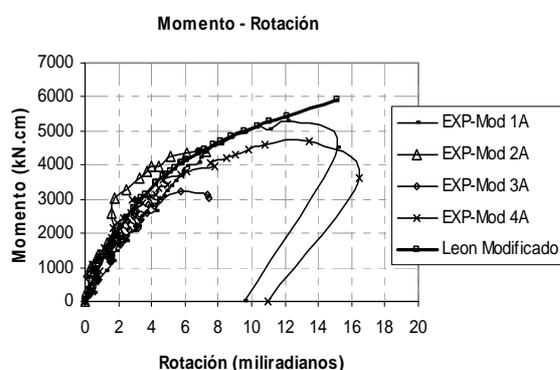


Figura 10. Curvas momento-rotación experimental e teórica de los modelos A.

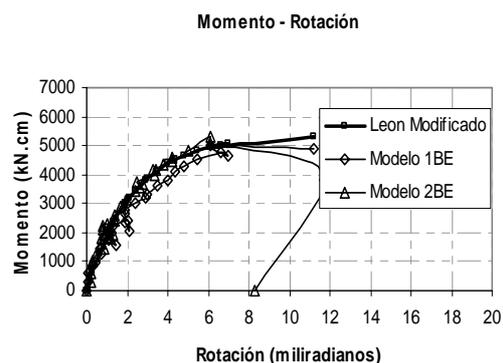


Figura 11. Curvas momento-rotación experimental e teórica los modelos BE.

4. Análisis de los resultados y conclusiones

En la presente investigación fue desarrollado un análisis teórico-experimental sobre la resistencia y el comportamiento de una conexión compuesta viga-pilar en perfiles formados a frío (PFF), con ángulo en la mesa inferior de la viga conectada a la alma del pilar, constituyendo así una conexión en el plano de menor inercia de este.

Por cuestiones de dimensionamiento de viabilización de montaje, el ángulo fue substituido por el conjunto formado por la chapa de refuerzo de la mesa inferior de la viga y la parte inferior de la chapa de extremidad soldada en las almas de la viga. Como conectores de cizallamiento de la viga compuesta, fueron utilizados tornillos de cabeza hexagonal fijados a la mesa superior de la viga por medio de rebites tubulares con rosca interna.

Se puede afirmar que los objetivos de la investigación fueron alcanzados, una vez que se consiguió monitorear experimentalmente el comportamiento estructural de los modelos ensayados, a partir de estos valores el momento último, da rigidez inicial y de la capacidad de rotación de la conexión analizada.

Para la previsión del comportamiento teórico no-lineal de la conexión estudiada, en términos de la relación momento-rotación, los resultados experimentales obtenidos servirán para la realización de los ajustes de los parámetros β_i (i de 1 a 5) da ecuación de LEON [7]. El modelo calibrado por QUIÑONEZ[8] es válido para conectores de cizallamiento de tornillos M12- con diámetro de 12 mm, rebites del tipo Rivkle con rosca interna con acero

Para la previsión del comportamiento teórico no-lineal de la conexión estudiada, en términos de la relación momento-rotación, los resultados experimentales obtenidos servirán para la realización de los ajustes previos de los parámetros β_i (i de 1 a 5)

de la ecuación de LEON [7]. El modelo calibrado por QUIÑONEZ [8] es válido para conectores de cizallamiento de tornillos M12 – con diámetro de 12mm, rebites del tipo Rivkle con rosca interna en acero SAE 1040 templado – con resistencia a tracción de 55kN y resistencia al torque de 80 kN., en vigas en perfil caja formado a frío sección de 150mm y alturas de 19 e 250 mm, teniendo la chapa del perfil una espesura mínima de 2mm, con resistencia a la fluencia entre 300 y 400 MPa, y concreto con resistencia a la compresión de 18 y 28 MPa.

Evaluando los resultados obtenidos en la investigación, se puede concluir que:

- a.- La conexión estudiada es compuesta, siendo clasificada en semi-rígida cuanto a su rigidez y de resistencia total, en función de la resistencia presentada. No fueron observados los estados límites no dúctiles como, por ejemplo, rupturas de tornillos y de armaduras.
- b.- La diferencia entre las alturas de la viga poco afectó el momento último y la capacidad de rotación de la conexión. No en tanto, se puede concluir que la rigidez inicial de la conexión fue afectada por las diferencias entre tales alturas.
- c.- La adición de enrijecedores verticales de chapas en las almas de la viga tiene una influencia poco representativa en las respuestas de las conexiones, pues sus resistencias no aumentaron y el pandeo local de las almas de la viga paso a ocurrir en las vicinanzas del local enrojecido.
- d.- No fueron verificadas grandes diferencias en el comportamiento de la conexión por la ausencia o presencia de enrijecedores no fueron verificadas grandes diferencias en el comportamiento de la conexión en las almas de las vigas y de los tornillos en la parte superior de la conexión.
- e.- La carga aplicada fue estática, siendo necesario hacer experimentos con cargas alternadas para estudiar el comportamiento de la conexión en esta condición.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Usiminas, por la concesión de la beca de Investigación y a la Fundación de Ampara a la Investigación del Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), por la concesión de recursos financieros para la ejecución del programa experimental de la presente investigación.

6. Referencias Bibliográficas

[1] BREMER, C. F. Vigas mistas em Perfis Formados a Frio com lajes mistas e lajes moldadas sobre painéis de concreto celular. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de

- Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “Projeto e execução de estruturas de aço de edificios”. NBR8800, Rio de Janeiro, 1986.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Material metálico - determinação das propriedades mecânicas à tração - método de ensaio. NBR 6152, Rio de Janeiro, 1977.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado”. NBR6118, Rio de Janeiro, 2005.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificios”. Projeto de Revisão NBR8800, Rio de Janeiro, 2006.
- [6] EUROCODE 3. Design of Steel Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, European Committee for Standardization, 2002;
- [7] LEON, R. T., e Ammerman, D. J. Behavior of Semi-Rigid Composite Connections. AISC Engineering Journal, 2nd Qtr., 1994;
- [8] QUIÑONEZ, V.A. Comportamento de ligações mistas viga-pilar em perfis formados a frio com conectores de parafuso e rebite com rosca interna. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.
- [9] MARQUARDT, D. W., “An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters”, J. Soc. Indust. Appl. Math., Vol.11, No. 2, June 1963.
- [10] PIMENTA, A.S., 2001. Ajuste de funções de múltiplas variáveis a séries de dados obtidos experimentalmente ou numericamente, Relatório final de iniciação científica. Universidade Federal de Minas Gerais.