

*PRÁCTICA EMPRESARIAL EN PRETCO S.A.S*

*Practica empresarial en la empresa PRETCO S.A.S. como ingeniero de apoyo en la implementación de herramientas BIM en el diseño e instalación de postensado en placas.*

Nelson Nicolás Andrade Mijares

Universidad Industrial de  
Santander Facultad de  
Ingenierías Fisicomecánicas  
Escuela de Ingeniería Civil  
Bucaramanga  
2023

*PRÁCTICA EMPRESARIAL EN PRETCO S.A.S*

*Practica empresarial en la empresa PRETCO S.A.S. como ingeniero de apoyo en la implementación de herramientas BIM en el diseño e instalación de postensado en placas.*

Nelson Nicolás Andrade Mijares

Trabajo de grado para optar a el título de Ingeniero Civil

Director:

Luis Eduardo Zapata Orduz  
Professor, C.E., M.Eng., MSc., PhD

Tutor:

Mónica Andrea León Pinto  
Especialista en Gestión de  
Proyectos

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías  
Fisicomecánicas Escuela de  
Ingeniería Civil Bucaramanga  
2023

## **CONTENIDO**

1.	RESUMEN.....	6
1.1	DESCRIPCIÓN.....	6
1.2	ABSTRACT .....	6
1.3	Description .....	7
2.	INTRODUCCIÓN .....	7
3.	OBJETIVOS .....	8
3.1	OBJETIVOS GENERALES .....	8
3.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	8
4.	GLOSARIO.....	9
5.	PRETCO S.A.S.....	11
5.1	MISIÓN.....	12
5.2	VISIÓN .....	12
6.	DISEÑO DE POSTENSADO .....	12
6.1	TIPOS DE LOSA POSTENSADAS.....	14

6.2	CARACTERISTICAS DEL POSTENSADO .....	16
6.3	TIPOS DE ELEMENTOS EN POSTENSADO .....	17
6.3.1	VIGAS.....	17
6.3.2	LOSAS.....	18
6.3.3	CIMENTACIONES.....	19
6.4	TIPOS DE CONCRETO UTILIZADOS .....	21
6.5	TIPOS DE ACEROS USADOS.....	21
6.6	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS POSTENSADOS.....	22
6.5.1	VENTAJA .....	22
6.5.2	DESVENTAJAS.....	23
6.7	PERDIDAS DE ESFUERZO.....	23
6.7.1	PERDIDA POR FRICCIÓN.....	26
6.7.2	ACORTAMIENTO ELASTICO .....	29
6.7.3	CONSTRACCION .....	30
6.8	COMPORTAMIENTO DEL CABLE SOMETIDO A TENSIÓN .....	33
7.	INTEGRACIÓN ENTRE LA METODOLOGIA BIM Y EL DISEÑO POSTENSADO	34

8. CONCLUSIONES..... 36

9. BIBLIOGRAFIA..... 37

## **1. RESUMEN**

**Título:** Practica empresarial en la empresa PRETCON S.A.S. como ingeniero de apoyo en la implementación de herramientas BIM en el diseño e instalación de postensado en placas.

**Autor:** Nelson Nicolás Andrade Mijares

**Palabras clave:** BIM, Concreto postensado, Optimización de recursos, Diseño estructural, Losas de concreto, Vida útil del concreto, Hormigón postensado.

### **DESCRIPCIÓN:**

La implementación de diseños estructurales con losas en postensado es una disciplina poco conocida que más sin embargo fue implementada por primera vez de manera muy rudimentaria en el año 1886 utilizando tirantes atornillados al exterior de bloques de concreto haciendo que ellos trabajasen a compresión y hasta el año 1928 aparece la primera patente que resalta los beneficios de esta y en 1940 se usó el primer sistema de presfuerzo con anclaje y cuña. Su mayor beneficio es el aumento de las luces entre columnas, la disminución de espesores de losa, aumento en la capacidad de carga y vida útil, beneficios que se comparten en cierta medida con el uso de Building Information Modeling (BIM) cuyo objetivo principal es reducir los tiempos, costos en diseño y construcción, optimizando al máximo los recursos disponibles.

### **1.2 ABSTRACT**

**TITLE:** Business internship in the company PRETCON S.A.S. as a support engineer in the implementation of BIM tools in the design and installation of post-tensioned plates.

**AUTHOR:** Nelson Nicolás Andrade Mijares

**KEY WORDS:** Building Information Modeling, Resource optimization, Structural design, Concrete slabs, Useful life of concrete, Post-tensioned concrete.

**DESCRIPTION:**

The implementation of structural designs with post-tensioned slabs is a little-known discipline that, however, was implemented for the first time in a very rudimentary way in 1886 using braces bolted to the outside of concrete blocks, making them work under compression and until the year In 1928 the first patent appears that highlights its benefits and in 1940 the first prestressing system with anchor and wedge was used. Its greatest benefit is the increase in spans between columns, the decrease in slab thickness, increase in load capacity and useful life, benefits that are shared to a certain extent with the use of Building Information Modeling (BIM) whose main objective is reduce times, costs in design and construction, optimizing available resources to the maximum.

Starting from this basis, multiple changes and observations made during the practice by the applicant for the title of civil engineer towards the company PRETCON S.A.S.

## **2. INTRODUCCIÓN**

El sistema de postensado es usado en la construcción de distintos tipos de estructuras como lo son puentes, anclajes de suelos, silos en concreto y placas de edificaciones siendo estas últimas el nicho de trabajo de la empresa PRETCON en donde adicional a su diseño se ofrece el servicio de instalación en obra con la intencionalidad de garantizar la correcta ejecución cumpliendo a totalidad la voluntad del diseñador, la característica que más destaca a PRETCON de su competencia es la priorización que se le da a que sus diseños sean de fácil instalación constructivamente hablando al saber que los retrasos y necesidad de mayor cantidad de mano de obra en la construcción se traducen en cantidades representativas de dinero, para ello la empresa importa y/o fabrica sus propios equipos de trabajo cumpliendo con la normativa americana conforme a lo requerido en ASTM A-416, NTC-2010, 1X7, como es en el caso de los cables de acero de alta

resistencia de 7 hebras con lubricación y recubrimiento plástico, conos, anclajes y cuñas la silletería necesaria para darle la altura necesaria al cableado que se fabrica en bodega debido a que los costos de importación exceden a los costos de fabricación, como se puede apreciar la mayoría de los materiales necesarios para la implementación de postensado son importados, de fabricación americana, muy susceptibles a las variaciones del precio del dólar por lo cual la empresa optó por entregar sus cotizaciones en dólares como medida preventiva a las situaciones políticas nacionales, Para garantizar la facilidad constructiva es fundamental mas no estrictamente necesario que el diseño estructural a su vez sea contratado con la misma empresa ya que la descoordinación entre modelos podría generar interferencia traducidas en imprevistos y demoras en campo, de allí la importancia del uso de herramientas BIM no solo en etapas de diseño, también en etapas de construcción que no son de única responsabilidad del diseñador estructural si no que a su vez tiene que ser usadas por las otras disciplinas y por el constructor.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVOS GENERALES**

Aconsejar medidas para la implementación de BIM iniciando con el modelado en REVIT de los elementos postensados (losas de entrepisos y vigas) generando conectividad entre los modelos arquitectónicos en enviados por los constructores y los diseños estructurales de postensados desarrollados por PRETCON y finalizando con la coordinación, alistamiento y despacho de los materiales y equipos necesarios en obra para su construcción empleando softwares de trabajo colaborativo.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Analizar e identificar inconsistencias, interferencias e incompatibilidades en los diseños arquitectónicos recibidos por los clientes de PRETCON, corregirlos y

evitar problemas en cuantificaciones a futuro.

- Modelar principalmente losas de entepiso y vigas diseñadas en postensado en REVIT teniendo compatibilidad con el modelo arquitectónico, corrigiendo detalles como espesores, rigideces y materiales entro de la información detallada en el modelo REVIT.
- Asistencia en la coordinación de alistamientos de materiales y despachos para las obras en curso llevando un registro digitalizado y compartido entre las partes involucradas (delegados del constructor y delegados del diseñador).
- Asistencia en el cálculo de estructuras postensadas (vigas y entepisos) llevando una correcta gestión documental con ayuda de las herramientas de Microsoft.

#### 4. GLOSARIO

- *Anclaje vivo: Los anclajes vivos si permiten la labor de tensado y normalmente consisten en una placa o bloque de acero que reacciona contra el concreto.*
- *Anclaje muerto: Los anclajes muertos son aquellos que quedan embebidos en la pieza de concreto y no permiten la operación de tensado a través de ellos, trabajan por adherencia y tiene la ventaja que suelen ser más económicos.*
- *Sistema adherido: Sistema de fijación en el que la impermeabilización se adhiere al elemento que sirve de soporte en toda su superficie.*
- *Sistema no adherido: Sistema de fijación en el que la impermeabilización no se adhiere al elemento que sirve de soporte en toda su superficie.*

- *BIM: Building Information Modeling o modelado de información de construcción es una metodología donde los datos y el modelado están relacionados con técnicas donde es procesada la información para obtener una documentación eficiente y segura para la gestión de proyectos.*
- *CONPES 3995: Establecer medidas para desarrollar la confianza digital a través de la mejora de la seguridad digital de manera que Colombia sea una sociedad incluyente y competitiva en el futuro digital mediante el fortalecimiento de capacidades y la actualización del marco de gobernanza en seguridad digital, así como con la adopción de modelos con énfasis en nuevas tecnologías.*
- *CAMACOL: La Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol) es una asociación gremial de carácter nacional sin ánimo de lucro que reúne a nivel nacional empresas y personas naturales relacionadas con la cadena de valor de la construcción. Camacol se creó en Medellín el 14 de septiembre de 1957 como iniciativa de un grupo de industriales y empresarios colombianos reunidos en la primera convención nacional de constructores. El fundamento para crear Camacol fue la necesidad de constituir una entidad que velara por los intereses de la industria de la construcción y que estuviera conformada por constructores, representantes de la industria y del comercio.*
- *INVIAS: es una agencia de la Rama Ejecutiva del Gobierno de Colombia a cargo de la asignación, regulación y supervisión de los contratos para la construcción de autopistas y carreteras y el mantenimiento de las vías.*
- *BEP: Plan de ejecución BIM, es un documento en el que se definen las bases, reglas y normas internas de un proyecto que se va a desarrollar bajo metodología BIM, para que todos los agentes implicados hagan un trabajo coordinado y coherente.*

- *Estrategia Nacional BIM 2026: Estrategia para la modernización del sector de la construcción e infraestructura a través de procesos colaborativos usando información estandarizada en un entorno digital.*
- *BIM Forum: Es la plataforma de articulación de actores y gestión del conocimiento, en torno a la digitalización del sector de la construcción, para el incremento de la productividad en las empresas y de la competitividad de la actividad edificadora en Colombia.*
- *BIM kit: es una recopilación de documentos que acompañan el paso a paso que deben seguir las empresas para tener una implementación de BIM exitosa que articula a todos los actores de BIM en un mismo lenguaje, nivelando el conocimiento a través de documentos técnicos.*
- *REVIT: Autodesk Revit es un software de Modelado de información de construcción (BIM, Building Information Modeling), desarrollado por Autodesk. Permite al usuario diseñar con elementos de modelación y dibujo paramétrico. BIM es un paradigma del dibujo asistido por computador que permite un diseño basado en objetos inteligentes y en tres dimensiones. De este modo, Revit provee una asociatividad completa de orden bidireccional.*

## **5. PRETCO S.A.S**

PRETCO fue fundada en el año 2009 por el Ing. Carlos A. López, y rápidamente ha pasado a convertirse en la principal compañía de diseño y colocación de cable postensado en el país. Con una vasta presencia en todo el territorio colombiano expandiendo sus operaciones al área del Caribe y centro, así como algunos países del territorio andino. PRETCO provee paquetes del sistema postensado, los cuales incluyen:

- ✓ Planos de instalación.
- ✓ Producción y transporte de los cables postensados.
- ✓ Anclajes y material necesario para la instalación.
- ✓ Equipo de tensionado.
- ✓ Asistencia técnica y soporte directo en obra.

Los servicios de PRETCO SAS incluyen diseño postensado, asistencia en la elección de los esquemas estructurales, presupuesto incluyendo actualización en el precio y detallado tanto del acero postensado No adherido como del acero adherido.

## **5.1 MISIÓN**

Brindar a la sociedad servicios de alta calidad en las áreas de Comercialización y Venta de Proyectos, Consultoría en Diseños Estructurales, Construcción de Edificaciones, Diseño y Construcción de Sistemas Postensados, buscando una adecuada rentabilidad mediante la optimización de los procesos internos que contribuya con el crecimiento de la organización, logrando satisfacer las necesidades del cliente y mantener unas relaciones mutuamente beneficiosas con proveedores y demás partes interesadas.

## **5.2 VISIÓN**

A 2025, afianzar una presencia sólida de la organización a nivel regional en todas sus actividades, bajo el compromiso de mejoramiento continuo en todos los procesos involucrados, contribuyendo a la competitividad y sostenibilidad de la empresa.

## **6. DISEÑO DE POSTENSADO**

El diseño de postensado está regido bajo el manual Design Fundamentals of Post-Tensioned Concrete Floors escrito por Bijan O. Aalami & Allan Bommer libro que

comprende toda la información necesaria para su modelado.

El diseñador debe estar avalado por el Post-Tensioning Institute Strength in Concrete, entidad que certifica las aptitudes de un ingeniero civil para diseñar elemento en postensado, se utiliza para lograr que las estructuras sean livianas, cubriendo mayores luces, sus aplicaciones más habituales son en vigas de gran dimensión, dovelas de los puentes, losas con distribución de carga bidireccional, vigas hiperestáticas y anteques de agua, entre muchos otros.

El presfuerzo se define como un estado de relación esfuerzo deformación que se adiciona para mejorar el comportamiento de la estructura, aumentando la capacidad de carga y disminuyendo las deformaciones, la aplicación de estos esfuerzos se realiza después del fraguado utilizando cables con recubrimiento plástico para garantizar la no adherencia al concreto, es un metro utilizado de igual manera para elementos prefabricados o elementos fabricados in situ, en el extremo en donde está el anclaje vivo se deben dejar unos mondes hechos en madera con la perforación por donde debe salir el cable verificando de que en toda su longitud mantenga las alturas deseadas.

El tensionamiento es evaluado en dos partes, la presión ejercida por el gato que en el caso de PRETCON es de 5600 Kpi y las elongaciones del acero que varían dependiendo de la longitud del cable

cada profesional decide que software utilizar dependiendo de sus criterios, tolerancias y métodos de análisis estructurales, en PRETCON el Ing. Carlos Lopez utiliza el software ADAPT que emplea el método de elementos finitos para analizar las cargas y esfuerzos sobre la estructura, uno de los mayores beneficios que proporciona este software es la compatibilidad con herramientas de uso cotidiano en la ingeniería como los son AutoCAD y Revit, facilitando la vinculación de modelos y generación de planos. Otros softwares reconocidos en el diseño de postensado son SAFE de CSI, CSI Bridge (para puentes) y MIDAS GEN.

De acuerdo con el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación

(ICONTEC), en el diseño de sistemas de postensado, es importante identificar las zonas con altas concentraciones de esfuerzos, tales como las esquinas generadas en los vacíos y bordes de losa, así como las áreas donde se podrían producir deformaciones máximas cercanas a los centros de luz (ICONTEC, 2021, p. 42). La ubicación de los torones, ya sea abajo o arriba, depende del tipo de momento presente en cada punto y de la altura que va desde los 30 mm hasta los 320 mm, variando según el espesor de la losa (ICONTEC, 2021, p. 42). Asimismo, se debe evitar la ubicación de los puntos de anclaje en zonas propensas a agrietamientos, ya que esto podría aumentar las posibilidades de falla. En la próxima actualización de la normativa vigente, se espera que se prohíba la colocación de anclajes dentro de elementos de disipación de energía, como muros estructurales y columnas, debido a que los desplazamientos no armónicos de estos elementos podrían generar rupturas de los tendones y conllevar a la pérdida parcial o total de la compresión generada por los mismos. Además, es importante tener en cuenta que se permite una pérdida máxima del 1% de los tensores en cualquier circunstancia (ICONTEC, 2021, p. 42).

ICONTEC. (2021). NTC 2289: Estructuras de concreto: postensado. Bogotá: ICONTEC.

## **6.1 TIPOS DE LOSA POSTENSADAS**

Primero que todo es apropiado hablar de los tipos de sistemas postensados, son dos:

- ✓ Sistema adherido: En donde se agrupa cables en un ducto regularmente de PVC corrugado en sus paredes interiores y sus tendones quedan libres para posteriormente ser tensados con ayuda de un gato hidráulico, en los extremos quedan fijos los cables con ayuda de unas cuchas que ejercen presión entre el anclaje y el cable y después de este proceso se agrega una lechada de cemento con la intención de asegurar la adherencia de los cables al concreto, de ahí el porqué de la pared interior corrugada del ducto, este sistema es mayormente utilizado en la construcción de puentes.

- ✓ Sistema no adherido: Para este sistema no es necesario contar con los ductos corrugados ni con la inyección de lechada, todo ello es sustituido por cables de baja relajación que están revestidos con una capa de grasa anticorrosiva y forrado en polietileno de alta densidad (HPDE) como anteriormente fue mencionado, la principal función de la grasa es reducir la fricción y el revestimiento permite el libre movimiento del cable al momento del tensado aislándolo del concreto que lo rodea.

En PRETCON se trabaja estrictamente con el sistema no adherido y en toda la trayectoria de la empresa se ha implementado este sistema en elementos estructurales como losas macizas, siendo este el más usado debido a la facilidad constructiva. Según Prieto, C., Londoño, A., & Naranjo, F. (2018), el sistema no adherido es una técnica que ha demostrado ser efectiva en la construcción de losas pretensadas, ya que reduce el riesgo de pérdida de adherencia entre el concreto y el cable de acero. Además, se ha utilizado en losas aligeradas en las dos direcciones implementado en las ocasiones en las que se requieren de grandes luces alcanzando una longitud total entre ejes de columnas de máximo 14 metros, según Martínez, D., Ortiz, D., & Salazar, D. (2020).

Otro de los usos de mayor impacto es las losas de fundaciones, ya que es en promedio cinco veces más económico que el uso de pilotes de cimentación en suelos de mala calidad generando un adicional favorable disminuyendo el uso de acero de refuerzo al mínimo solicitado, según Ríos, G., López, A., & Sánchez, J. (2016). También se ha diseñado con menor frecuencia columnas de gran longitud en las que para llevar al mínimo sus deflexiones se opta por postensarlas haciendo que trabaje a compresión, según García, E., Zapata, J., & Quintero, S. (2017). Además, se han utilizado técnicas de postensado en escaleras y rampas.

## **6.2 CARACTERÍSTICAS DEL POSTENSADO**

El preesfuerzo o postesfuerzo es una técnica utilizada en ingeniería civil para mejorar las propiedades estructurales de un elemento. Según ICONTEC, se define como "un estado especial de tensión y deformación creado intencionalmente en un elemento estructural mediante la aplicación de fuerzas antes o después de que el elemento esté en servicio" (ICONTEC, 2015).

El proceso de pretensado implica la aplicación de fuerza en un cable de acero de alta resistencia antes de que se vierta el hormigón en el elemento estructural. La fuerza generada por la carga de trabajo y la fuerza opuesta es generada por la tensión del cable contra el anclaje. Como resultado, se aumenta la capacidad de carga y se reduce el área de la sección transversal de los elementos Titi, H. H., Abu-Hejleh, B. A., & Ayyash, A. R. (2018).

Las fuerzas se aplican después de la instalación mediante cables de acero revestidos para evitar que se peguen al hormigón. El postesfuerzo, por otro lado, es un método de pretensado en el que el cable que entra en el conducto se tensa después de que se ha fraguado el hormigón. En la mayoría de los casos, el postesfuerzo se aplica externamente al hormigón endurecido y las barras de refuerzo se fijan al hormigón inmediatamente después del pretensado. Este método es aplicable tanto a elementos prefabricados como colados en el lugar Aguado, A., García-Morales, M., & Moreno, M. (2018).

Durante el proceso de pretensado, los conductos huecos que contienen cables no tensionados se colocan en el encofrado de vigas en la configuración deseada antes de verter el hormigón. Los conductos se sujetan con alambres a los refuerzos suplementarios de la viga (soportes no reforzados) para evitar el desplazamiento accidental y se vierte con hormigón. Una vez que se obtiene la resistencia suficiente, se utiliza la propia viga de hormigón para garantizar la respuesta a la tensión Schmidt, M., Zilch, K., & Maurer, R. (2017).

Una vez que se obtiene la resistencia suficiente, se utiliza la propia viga de hormigón para garantizar la respuesta a la tensión. La tensión se evalúa midiendo tanto la presión

del ariete como el alargamiento del acero (Hearn, 2010). Los tendones generalmente se tensan simultáneamente o usando un solo pistón roscado (ACI, 2014).

Los conductos acanalados generalmente se rellenan con lechada después del refuerzo. El mortero se fuerza en un extremo de la tubería a alta presión y se bombea hasta que aparece una suspensión en el otro extremo de la tubería. Después del curado, el pegamento une el tendón a la pared interior del conducto (Gamble, 2012).

## **6.3 TIPOS DE ELEMENTOS EN POSTENSADO**

### **6.3.1 VIGAS**

El postensado es una técnica eficaz que permite disminuir espesores con menor sollicitación de refuerzo en elementos estructurales. Según Beltrán, García y Muttoni (2019), el postensado se utiliza comúnmente en la construcción de puentes para reducir el peso de las vigas y facilitar su movimiento, especialmente cuando se trata de elementos con grandes extensiones.

Cabe destacar que, aunque se utilice la metodología de postensado en elementos prefabricados, esto no significa que el elemento en cuestión sea considerado pretensado. Como explican Escudero y García (2015), la diferencia radica en que, en el caso del pretensado, el cable de acero de alta resistencia se tensa antes del fraguado del hormigón, mientras que en el postensado, la tensión se aplica una vez que el hormigón ha endurecido.

En el caso específico de la construcción de vigas de puentes, se puede optar tanto por el pretensado como por el postensado. Según Pérez y Castañeda (2014), el postensado se

suele elegir por su mayor facilidad y agilidad, ya que requiere una menor cantidad de gatos hidráulicos de menor tamaño para aplicar la tensión en los cables.

*Ilustración 1. Viga en postensado*



### **6.3.2 LOSAS**

Según diversos expertos en ingeniería estructural, existen diferentes clasificaciones de sistemas de losas de piso, como los sistemas en una dirección, en dos direcciones, placa maciza, losas sobre vigas, placas de múltiples luces, entre otros (Ovalle, 2019). Estos sistemas se subdividen en distintos grupos según la necesidad o uso de vigas anchas o vigas angostas Barros, J. A., Camargo, J. R. D., & Favero, R. D. (2015).

Entre todas las opciones, las losas aligeradas presentan un comportamiento estructural superior en términos de resistencia a la flexión, lo que se traduce en una relación de peso en planta mucho menor y un ahorro significativo en el diseño de elementos verticales y

cimientos Cruz, J. L., Lastra-González, P., & López-Puente, J. (2016). Además, debido a la reutilización de la formaleta en todos los niveles, el costo de las losas aligeradas es comparativamente bajo en términos de unidad de área Ortiz, E., Muñoz, J., & Barros, J. A. (2018).

En conclusión, se puede afirmar que las losas aligeradas son una excelente opción para sistemas de losas de piso debido a su mayor resistencia a la flexión y su relación de peso en planta mucho menor, lo que se traduce en un ahorro significativo en el diseño de elementos verticales y cimientos, así como en un costo más bajo en términos de unidad de área.

*Ilustración 2. Losa de entrepiso en postensado.*



### **6.3.3 CIMENTACIONES**

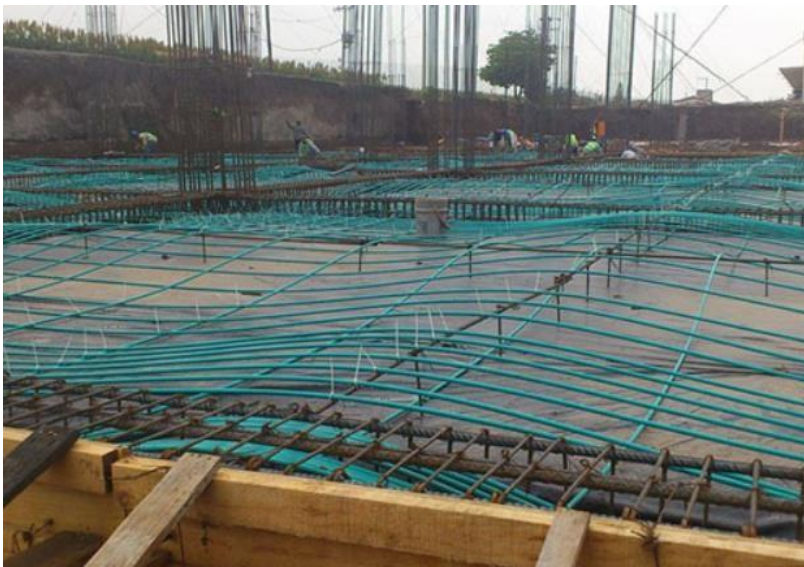
López-Cózar, J. J., Robinson-García, N., & Torres-Salinas, D. (2018). mencionan que la composición del diseño de una placa de cimentación en postensado es similar a la de un

sistema de entrepiso, pero invertido, ya que las fuerzas transmitidas desde el suelo van dirigidas desde abajo hacia arriba, generando solicitaciones de carga a momento negativo en la mitad de las luces y momento positivo en las uniones con columnas.

Valente (2017) explica que el postensado de las placas o vigas de cimentación también ofrece ventajas similares a las observadas en los sistemas de entrepiso, debido a la reducción de las deflexiones y el agrietamiento, así como a la disminución del movimiento de tierras y el volumen del concreto solicitado gracias a la reducción de espesores.

Rubio, B., Martínez, M., & Ivorra, S. (2013). destacan que existe un tipo especial de cimentación postensada en la que se utilizan anclajes a tierra con pilotes a su vez tensionados. Estos pilotes juegan un papel crucial al resistir momentos por volcamiento debido a cargas de viento y sismos, suministrando seguridad frente a efectos de levantamiento o volcamiento.

*Ilustración 3. Losa de cimiento en sistema postensado.*



## 6.4 TIPOS DE CONCRETO UTILIZADOS

El concreto debe cumplir con las resistencias requeridas verificando que no se sobrepasen los esfuerzos admisibles, a diferencia del pretensado el postensado se puede tensar antes de alcanzar su rigidez máxima obteniendo mejores rendimientos en las etapas de producción.

Los rangos comunes de  $f_c$  para concreto postensado están entre  $280 \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$  y  $500 \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$ , siendo  $280 \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$  el valor estándar y el valor mínimo que se requiere para realizar la transferencia de cargas es de  $210 \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$ .

## 6.5 TIPOS DE ACEROS USADOS

El acero a tensión es un material que induce efectivamente momentos y fuerzas de las cargas. Hay tres métodos comunes de pretensado de acero: conexión de mazo de cables paralelo, haz de cables o refuerzo. Alambraón: se produce por separado para el alambraón redondo a partir de acero aleado laminado en caliente, y su diámetro se reduce al tamaño requerido utilizando un molde después del enfriamiento. El proceso de estirado se realiza en frío, lo que modifica significativamente sus propiedades mecánicas y aumenta la resistencia. Luego, la tensión se alivia mediante un tratamiento térmico continuo hasta que se logran las propiedades mecánicas especificadas. Los hilos están disponibles en diámetros de 3, 4, 5, 6, 7, 9,4 y 10 mm y su resistencia oscila entre 16.000 y  $19.000 \frac{Kg f}{cm^2}$ . Las cuerdas de 5, 6 y 7 mm están disponibles con superficies lisas, dentadas y agudas.

Alambre: El alambre consta de siete alambres fuertemente retorcidos, pero las propiedades mecánicas son mejores en comparación con las del alambre.

Significativo, especialmente preferido. La hélice o paso es de 12 a 16 veces el diámetro nominal del cable. Los diámetros de alambre van desde 3/8" hasta 0,6", más comúnmente 3/8" y 1/2", con un área nominal de 54,8 y 98,7 mm<sup>2</sup> respectivamente. Barras de acero aleado. La resistencia de la barra de refuerzo se logra agregando un poco de metal de unión durante el proceso de fabricación. También se trabaja en frío para aumentar la resistencia del refuerzo. Después del proceso de estirado en frío, no escatimaron esfuerzos para lograr las propiedades deseadas. Las barras de aleación de acero varían en diámetro desde 1/2" hasta 13/8". El uso de acero ordinario en elementos de hormigón pretensado es común. La resistencia nominal de este acero es  $F_y = 4200 \frac{Kg f}{cm^2}$

Este acero es ideal para:

- ✓ Aumenta la flexibilidad.
- ✓ Aumente la resistencia.
- ✓ Esfuerzos de tracción y compresión.
- ✓ Resistente al cizallamiento y torsión.
- ✓ Las grietas son limitadas debido al procesamiento y los cambios de temperatura.
- ✓ Reducir el deterioro a largo plazo.
- ✓ Limitaciones específicas.

## **6.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS POSTENSADOS**

### **6.5.1 VENTAJA**

- ✓ Se pueden cubrir grandes luces que implica la utilización de menos ejes de

columnas y se traduce en menor costo de la estructura

- ✓ Beneficios arquitectónicos al hacer losas planas sin la utilización de vigas aumentando el espacio libre entre piso
- ✓ Reducción el 25% aprox. de concreto al tener losas más delgadas y disminución de entre el 45-65% de acero en obra.
- ✓ Mejor control de deflexiones y fisurado en el concreto
- ✓ Menor uso de mano de obra
- ✓ Menores cargas transferidas a la cimentación.
- ✓ Rápido desencofrado, entre 3 y 7 días al alcanzar el 70% de la rigidez máxima y tensar los cables.
- ✓ Reducción de la altura en la superestructura.
- ✓ Menor movimiento de tierras.

### **6.5.2 DESVENTAJAS**

- ✓ La inversión inicial en el diseño es mayor.
- ✓ Debe ser planeado y ejecutado cuidadosamente el proceso constructivo.
- ✓ Los cálculos por lo general son más complejos.

### **6.7 PERDIDAS DE ESFUERZO**

Al momento de calcular las fuerzas necesarias sobre los torones se debe multiplicar por un factor de mayoración contemplando las pérdidas, se le conoce como esfuerzo efectivo a la cantidad de fuerza real del torón sobre su área Oliveira, L. S., Sória, M. A., & Pfeil, M. S. (2016). Es de difícil medición ya que depende de muchos factores como lo puede ser la temperatura, calibración del gato, composición del acero del cable, entre otros Barros, J.

A., Oliveira, J. L., Furtado, A., & de Souza Lima, R. (2015). Llamamos esfuerzo inicial como al que se asume en el diseño contemplando las pérdidas (Hearn, 2010). Es importante considerar que este esfuerzo inicial debe ser mayor al requerido, ya que se espera que las pérdidas de tensión reduzcan el esfuerzo efectivo del torón con el tiempo López-Cózar, R. E., Núñez, R. A., & Fuentes, G. G. (2018).

Las pérdidas las podemos clasificar en dos tipos:

- ✓ Pérdidas inmediatas, ocurridas durante el proceso de construcción.
- ✓ Pérdidas diferenciales, varían a lo largo del tiempo de manera mínima.

La fuerza inicial aplicada por el gato se reduce inmediatamente debido a las pérdidas por deslizamiento del anclaje y/o cuñas, fricción, relajación instantánea del acero y acortamiento elástico concreto a compresión.

Para el cálculo de las diferentes pérdidas de presfuerzo se usa una fórmula general que puede variar un poco dependiendo de los criterios de cada diseñador, para el caso de PRETCON se usa:

$$\Delta PT = \Delta FR + \Delta DA + \Delta AE + \Delta CC + \Delta FP + \Delta RE$$

Donde:

$$\Delta PT = \text{pérdida total} \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

$$\Delta FR = \text{pérdida debido a fricción} \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

*PRÁCTICA EMPRESARIAL EN PRETCO S.A.S*

$$\Delta DA = \text{perdida debido al deslizamiento del anclaje} \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

$$\Delta AE = \text{perdida debido al acortamiento elástico} \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

$$\Delta CC = \text{perdida debido a la contracción} \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

$$\Delta FP = \text{perdida debido al flujo plástico del concreto} \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

$$\Delta RE = \text{perdida debido a la relajación del acero} \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

Las pérdidas debido al deslizamiento del anclaje se presentan justo en el momento en donde se suelta de la tensión del gato sobre el anclaje permitiendo un leve deslizamiento de las cuñas hasta que se acoplan dentro de los tendones que reduce de manera significativa la tensión, para controlar esta pérdida se debe verificar la calidad de todos los dispositivos sujetos a los anclajes, así como los excesos de grasa o polvo que impidan un correcto agarre entre las cuñas y el cable.

Conocido el deslizamiento del dispositivo de anclaje especificado, la pérdida por deslizamiento en el anclaje se puede calcular con la expresión:

$$\Delta DA = \frac{\Delta L}{L} E_p \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

Donde:

$\Delta L$  = cantidad de deslizamiento.

$E_p$  = módulo de elasticidad del acero de presfuerzo.

$L$  = longitud del tendón.

*L deberá ser reducida a L1 cuando exista fricción como sigue:*

$$L_1 = \sqrt{\frac{\delta L \cdot E_p}{f_i \cdot \left( \frac{\mu \sum a}{L} + K \right) \cdot 2.4}}$$

Donde:

$f_i$  = esfuerzo después de la transferencia.

$\mu$  = coeficiente de fricción por curvatura intencional  $\left[ \frac{1}{rad} \right]$

$K$  = coeficiente de fricción secundario o de balance  $\left[ \frac{1}{m} \right]$ .

$a$  = suma de los valores absolutos de cambio angular de la trayectoria del acero de presfuerzo a la esquina del gato, o de la esquina más cercana del gato si el tensado se hace igual en ambas esquinas, en el punto bajo investigación  $[rad]$ .

Los valores de  $\mu$  y  $K$  se darán en las Tablas.

Las pérdidas por desplazamiento son máximas en el anclaje vivo y van disminuyendo hasta el otro extremo.

### 6.7.1 PERDIDA POR FRICCIÓN

Se produce una pérdida de fuerza de pretensado entre los miembros postensados debido a la fricción entre el tendón y el tubo. La magnitud de esta fuerza es una función de la forma o ubicación del tendón, conocida como efecto de curvatura, y de las desviaciones locales de la ubicación, conocida como efecto de tensión involuntaria. El valor del factor de amortiguamiento depende del tipo de tendón y la ubicación de la línea.

En los siguientes miembros de carga, el tendón generalmente se fija en un extremo y se extrae en el otro extremo. A medida que el acero se desliza a través

del conducto, desarrolla resistencia al corte, por lo que la tensión del extremo del anclaje es menor que la tensión del ariete. Las fuerzas de fricción se consideran como una función de dos acciones: la deflexión esperada (primaria) del cable y la deflexión no deseada (secundaria) (secundaria) de una tubería dada. En el caso real, el conducto no puede ser perfectamente recto y hay fricción entre los cables, por lo que existen pérdidas por fricción debido a la deformación involuntaria del conducto incluso para cables rectos.

El monto de la pérdida depende del tipo de tendones y conductos utilizados y del cuidado que se tuvo durante la construcción. Cuando se tira del tendón en ángulo con una fuerza P, el tendón roza contra el conducto y el esfuerzo en el tendón varía desde el plano del ariete hasta la longitud del tramo L.

Ambos lados se pueden tensar, pero esto a menudo no es económico debido al costo de accesorios adicionales, mano de obra y tiempo adicional. La pérdida por fricción entre el tendón pretensado y el conducto hueco del miembro postensado debe calcularse con la siguiente fórmula:

$$DFR = ft (1 - e - (Kx + \mu\alpha)) \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Donde:

Ft= esfuerzo en el acero de presfuerzo al aplicar los gatos (kg/cm<sup>2</sup>)

X= longitud de un tendón de presfuerzo de la esquina del gato a cualquier punto en consideración (m).

K= coeficiente de fricción secundario o de balance (1/m).

M= coeficiente de fricción primario por curvatura intencional (1/rad).

Los valores de k y m deben basarse en datos empíricos para el material seleccionado y deben aparecer en el material de la oferta. Si tales datos no están disponibles, se pueden usar valores en el rango de k y m dados en la tabla a continuación. Estos valores dependen del tipo de canal y de la calidad del acero.

Coeficientes de fricción para tendones postensados.

Ilustración 4. Coeficientes de fricción para tendones postensados.

<b>Tipos de Tendón y Ductos</b>	<b>Coeficiente de rozamiento <math>k(1/mm).10^{-6}</math></b>	<b>Coeficiente de curvatura <math>u(1/rad)</math></b>
Tendones en ductos rígidos y semirígidos torones de 7 alambres	0.66	0.05 – 0.15
Tendones preengrasados alambres y torones de 7 alambres	0.98 – 6.6	0.05 – 0.15
Tendones revestidos de mastique alambres y torones de 7 alambres	3.3 – 6.6	0.05 – 0.15
Desviadores de tubos de acero rígido	6.6	0.25 requiere lubricación

## 6.7.2 ACORTAMIENTO ELASTICO

En un elemento postensado, cuando todos los hilos se tensionan simultáneamente, la pérdida de adherencia elástica varía de cero a la mitad del valor calculado en la condición pretensada cuando ocurren múltiples acciones de tracción. Al comprimir todas las cuerdas a la vez, aplicando fuerza al mango, el hormigón se deforma elásticamente y la pérdida de la unión elástica se compensa automáticamente, por lo que no es necesario ningún cálculo. Si se usa más de una cuerda y se estira continuamente, habrá pérdidas. Cuando se estira la segunda cuerda, la primera cuerda comprimida perderá presión, cuando se estire la tercera cuerda, la primera y la segunda cuerda perderán presión, y así sucesivamente. Las pérdidas debidas al acortamiento elástico de un miembro después de la carga se pueden considerar como:

$$AE = \frac{N - 1}{2N} \cdot \frac{E_p}{E_{ci}} \cdot f_{cgp} \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

Donde:

N = número de veces que se tensa.

Si se tensan todos los tendones simultáneamente:

N=1 y por lo tanto el valor de AE= 0.

Cuando N es muy grande:

$$\frac{N - 1}{2N} = 0,5$$

El valor de  $f_{cgp}$  se puede calcular utilizando el valor de la tensión del acero reducido a menos del valor inicial debido a los efectos de relajación y fricción, con un margen. Para estructuras postensadas con nervios sueltos, el valor de  $f_{cgp}$  se puede calcular como el esfuerzo promedio en el centro de gravedad del acero en tensión a lo largo del miembro.

### **6.7.3 CONTRACCION**

Las mezclas de hormigón convencionales contienen más agua de la necesaria para la hidratación del cemento. Esta agua libre se evapora con el tiempo y, dependiendo de la humedad, la temperatura ambiente y el tamaño y la forma de la muestra de concreto, la velocidad y el secado completo se evaporarán. El secado del hormigón va acompañado de una disminución del volumen, este cambio se produce más rápido al principio que al final, ya que se alcanza gradualmente el tamaño límite.

La contracción por secado del hormigón reduce la tensión del refuerzo pretensado correspondiente a la tensión de contracción del hormigón. El alivio de tensión en el acero es una parte importante de la pérdida de tensión en cualquier tipo de viga de hormigón pretensado.

La retracción del hormigón se conoce como resultado de la pérdida de humedad. El hormigón también se hincha cuando se expone a la humedad o se sumerge en agua después del secado total o parcial.

Se sabe que las siguientes variables afectan la contracción:

1. Agregados: el agregado se usa para reducir la contracción de la pasta de cemento; por lo tanto, es menos probable que el concreto con un alto contenido de agregados se contraiga. Además, el grado de durabilidad del hormigón está determinado por las propiedades del árido: los áridos con un alto módulo de elasticidad o una superficie rugosa son más resistentes a la retracción.
2. Relación entre agua y cemento: Cuanto mayor sea la relación agua-cemento, mayor será el efecto de retracción.
3. El tamaño del artículo material: A medida que aumenta el tamaño del elemento de material, disminuye el valor y la cantidad de contracción. Sin embargo, las piezas más grandes tardan más en encogerse porque tardan más en secarse por dentro. El proceso de secado puede tardar hasta un año a partir de 25 cm de profundidad y 10 años a partir de 60 cm de profundidad en el exterior.
4. Condiciones ambientales: La humedad relativa del ambiente afecta significativamente el grado de contracción; donde la humedad relativa es alta, el valor de contracción es menor.
5. cantidad de refuerzo: El hormigón armado se contrae menos que el hormigón ordinario; la diferencia relativa es una función de la tasa de ganancia.
6. Contenido adicional: Este efecto depende del tipo de aditivo. Los aceleradores, como el cloruro de calcio, utilizados para acelerar el fraguado y el endurecimiento del hormigón, aumentan la contracción. También hay aditivos para evitar la contracción.
7. Tipo de cemento. El cemento Portland rápido (Tipo III) generalmente tiene un 10% más de

contracción que el cemento Portland normal (Tipo I) o el cemento Portland modificado (Tipo II).

Para los órganos postensados, la pérdida de tensión contráctil es algo menor, ya que un gran porcentaje de las contracciones ya se producen antes del postensado.

Las pérdidas de tensión debidas a la contracción deben considerarse como:

$$DCC = (948 - 9H) \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

H= el promedio anual de la humedad relativa del ambiente (%).

En caso de no conocerse H se puede estimar según la siguiente tabla:

*5 Ilustración. Porcentajes de humedad segun su clima.*

Tipo de clima	H
Muy húmedo	90%
Humedad intermedia	70%
Seco	40%

#### **6.7.4 FLUJO PLASTICO**

Según el informe técnico del ACI (American Concrete Institute) 209R-92, "la fluencia es la propiedad de deformación que permite la deformación continua de un material bajo

carga constante con el tiempo". Esto implica que la tasa de aumento de la deformación disminuye con el tiempo hasta que alcanza un valor asintóticamente constante después de varios meses (Fintel, 2011).

En cuanto al hormigón pretensado, la pérdida de resistencia pretensada está relacionada principalmente con la fluencia del hormigón. Según el informe técnico del ACI 209R-92, "la fluencia del hormigón resultante es la principal fuente de pérdida de resistencia pretensada" (Fintel, 2011). La fluencia del hormigón en secciones pretensadas también tiene un efecto en la resistencia a la compresión. Según el informe técnico del ACI 209R-92, "en secciones pretensadas, la resistencia a la compresión no es constante debido a la fluencia del hormigón, sino que disminuye con el tiempo debido a la relajación de las armaduras y la retracción del hormigón y el consiguiente cambio de longitud" (Fintel, 2011).

Por lo tanto, la carga resultante depende de la magnitud y la duración de la carga aplicada y de las propiedades del hormigón, incluida la relación de mezcla, la relación de fraguado, la edad a la que se cargó el miembro por primera vez y las condiciones ambientales específicas.

Las pérdidas de flujo de plástico deben calcularse de la siguiente manera:

$$DFP = (12 f_{cgp} - 7 f_{cds}) \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

## **6.8 COMPORTAMIENTO DEL CABLE SOMETIDO A TENSIÓN**

Una de las pérdidas más importantes se produce debido a la fricción entre el cable y el ducto de que lo protege, para esto se contemplan unos coeficientes de pérdida que varían

según el tipo de tendón y los alineamientos del ducto.

Por lo general los tendones se anclan en uno de sus lados y se tensiona por el otro, a medida que aumenta el esfuerzo sobre él aparece un efecto llamado resistencia friccionante y lo que hace es que el extremo anclado perciba menores esfuerzos comparado con el extremo en donde se tensiona.

Como se puede destacar, el efecto de mayor relevancia en el diseño de postensado es el generado por la fricción, en la siguiente tabla se presentan unos rangos para el coeficiente de fricción dependiendo del tipo de pérdida asociada.

Otra de las pérdidas más representativas es llamada pérdida debido a acortamiento elástico que básicamente es la pérdida de tensión del cable inmediatamente anterior tensado debido a la disminución de la sección generado por la presión aplicada por el actualmente tensado y así sucesivamente, la única manera de evitarlo sería tensar todos los cables al mismo momento, planteamiento que no es económicamente viable por lo tanto dentro del delta de las pérdidas se debe considerar está determinada de la siguiente manera:

$$AE = \frac{N - 1}{2N} \cdot \frac{E_p}{E_{ci}} \left[ \frac{Kg}{cm^2} \right]$$

Donde:

N = número de veces que se tensa.

## **7. INTEGRACIÓN ENTRE LA METODOLOGIA BIM Y EL DISEÑO POSTENSADO**

El método de proyecto adecuado para desarrollo de una obra civil está representado de

la manera más asertiva en la siguiente imagen, BIM está contemplado para la interconexión en todas las etapas del proceso constructivo incluso la vida útil o etapa de mantenimiento de la superestructura.

Ilustración 6. Ciclo de vida de un proyecto de construcción.



Implementar la metodología BIM en el diseño con postensado reduciría en un 35.5% los tiempos de diseño y en etapas de construcción hasta un 29.8% debido a que existen muchos más factores impredecibles que influyen en el proceso de obra

Las siguientes son un listado de las actividades colaborativas que se podrían realizar en la empresa para tener un mayor rendimiento.

1. La empresa cuenta con la capacidad de almacenamiento suficiente como para compartir la información en servidores locales y que a la vez todos los usuarios dentro de la banda tengan acceso a ella, de esta manera no se tendrán archivos

desactualizados ni la necesidad de compartir los actualizados entre cada Ingeniero involucrado.

2. Transición de la herramienta de dibujo, pasar del uso de AutoCAD a Revit, aproximadamente el 30% del tiempo se está destinando para diseño y el 70% para dibujo, en los tiempos de dibujo se incluyen las modificaciones hechas por curadurías o por solicitud del propietario, con el uso de Revit se pueden reducir en un 65% los tiempos de dibujo y modificaciones.
3. Uso de archivos PDF o DWG en lugar de la impresión en papel, lo que ayudaría a reducir el impacto medioambiental, costos en los gastos de la empresa y precisión e la hora de mediciones y determinación de cantidades.
4. Definir los parámetros de la empresa usados para nombrar los archivos haciendo que cuenten con la mayor información posible y necesaria, siendo específicos y logrando una homogenización para su interpretación.
5. Uso de planos digitales en obra, en la actualidad es mayor la cantidad de dispositivos móviles que la cantidad de personas, el uso de estos archivos en PDF en obra ayudaría a reducir el impacto medio ambiental y facilitaría el trabajo del Ingeniero en el manejo de planos para verificación de cantidades de planos y alturas.
6. En la determinación de longitudes nuevamente se puede usar un dispositivo móvil para llenar el cuadro de elongaciones logrando así que el personal en oficina cuente en tiempo real con los datos de obra y optimizar los tiempos.

## **8. CONCLUSIONES**

Finalizando esta práctica laboral que me dejó con muchas enseñanzas la cual aprecio con todo mi corazón llego a la conclusión de que el diseño del postensado y la metodología BIM están unidos por ese hilo rojo que une a dos almas gemelas, al tener



*PRÁCTICA EMPRESARIAL EN PRETCON S.A.S*

*%202026,estandarizada%20en%20un%20entorno%20digital.*

*CAMACOL (Octubre de 2019) Catálogo de cuantificaciones sector construcción*

*convenio de asociación N.º 201 de 2019 MEN-CAMACOL*

*[https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files\\_public/2021-08/caracterizacion-sector-construccion.pdf](https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/2021-08/caracterizacion-sector-construccion.pdf)*

*INVIAS (2022) Instituto Nacional de Vías, Página principal <https://www.invias.gov.co/>*

*PRETCON S.A.S (2022). Página web de la empresa, portafolio de servicios, personal y datos*

*de contacto <http://pretcon.com/>*

*El panorama BIM en Colombia. (2020). Retrieved 18 November*

*2020, from [https://blog.structuralia.com/bim-colombia?hs\\_amp=true](https://blog.structuralia.com/bim-colombia?hs_amp=true)*

*Documento CONPES (Julio 2 de 2020). POLÍTICA NACIONAL DE CONFIANZA Y SEGURIDAD DIGITAL*

*<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3995.pdf>*

*CAMACOL (2021) Productividad Sectorial.*

*<https://camacol.co/productividad-sectorial/digitalizacion/bim-forum#:~:text=Es%20la%20plataforma%20de%20articulaci%C3%B3n,la%20actividad%20edificadora%20en%20Colombia.>*

*Wikipedia (Abril 27 de 2022). Revit <https://es.wikipedia.org/wiki/Revit>*

*Leon, I., Sagarna, M., Mora, F., Marieta, C., & Otaduy, J. (2016). El empleo de la tecnología BIM en la docencia vinculada a la Arquitectura: aprendizaje cooperativo y colaborativo basado en Proyectos reales entre diferentes asignaturas. IV Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura (JIDA'16), Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia, 20 y 21 de Octubre de 2016 (pp. 191–197).*

*AUTODESK (2022 Autodesk Inc.)*

*[https://latinoamerica.autodesk.com/?mktvar002=afc\\_latam\\_deeplink&AID=13955714&PID=8299320&SID=jkp\\_EAlaIQobChMI0-vBlvjI9wIVmLfICh1fPw9WEAAYASAAEgKrWPD\\_BwE&cjevent=352e1c5bcc9d11ec80d6eb8b0a82b832&affname=8299320\\_13955714](https://latinoamerica.autodesk.com/?mktvar002=afc_latam_deeplink&AID=13955714&PID=8299320&SID=jkp_EAlaIQobChMI0-vBlvjI9wIVmLfICh1fPw9WEAAYASAAEgKrWPD_BwE&cjevent=352e1c5bcc9d11ec80d6eb8b0a82b832&affname=8299320_13955714)*

*Rossado Espinoza, Verónica & Torres, Daniel. (2015). La enseñanza de una metodología integral de colaboración para la gestión de proyectos en construcción civil: la metodología BIM en la educación superior. 818-822. 10.5151/desprosigradi2015-sp110179.*

*Cajade Sánchez, D., & Solar Serrano, P. (2018). Integration of the BIM execution plan with the guide to the project management body of knowledge (PMBOK®) of PMI (Project Management Institute) = Integración del plan de ejecución BIM con la guía para la dirección de proyectos (PMBOK®) de PMI (Project Management Institute). Building & Management*