

**MONITOREO DE DEFLEXIONES DE UNA ESTRUCTURA POR MEDIO DE GPS: ESTADO
DEL ARTE.**

Por:
EDITH LORENA PIÑARETE CAMACHO
JOSÉ DAVID ROMERO CUERVO



Universidad Industrial De Santander

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2013

Informe Final del Trabajo de Grado en la Modalidad de Investigación
**MONITOREO DE DEFLEXIONES DE UNA ESTRUCTURA POR MEDIO DE
GPS: ESTADO DEL ARTE.**

EDITH LORENA PIÑARETE CAMACHO

JOSÉ DAVID ROMERO CUERVO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Civil.

DIRECTOR

Ph.D GUSTAVO CHÍO CHO

Universidad Industrial de Santander

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECANICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2013

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por darme la fuerza y la sabiduría necesaria para hacer cada uno de mis sueños una realidad, por escucharme y por conducirme por el camino correcto.

A mi madre María Nydia Camacho que sin su ayuda hubiera sido simplemente imposible hacer este gran sueño una realidad, gracias a ella y a su gran esfuerzo por ser mi pilar para seguir construyendo una vida placentera.

A hermanos William y Yeison porque estuvieron constantemente apoyándome en los momentos difíciles.

Al hombre que desde hace 4 años ha hecho que mi vida sea más alegre; por el apoyo constante y por ser tan maravilloso y comprensivo, porque sin importar obstáculos constantes siempre ha estado ahí; a ti Jaiver gracias.

A mi compañero David ya que sin su ayuda constante no hubiera sido posible desarrollar este documento.

A mi querida y amada Abuela Encarnita que con su gran sabiduría supo aconsejarme en los momentos más duros y con su apoyo constante pude terminar mi gran sueño.

EDITH LORENA PIÑARETE CAMACHO.

DEDICATORIA

Este libro se lo dedico al Señor por acompañarme hasta el final de mi primera etapa profesional.

Al ingeniero Adalberto Vergara más conocido como Zafarrancho por sus consejos que me permitieron superar obstáculos que me impedía seguir estudiando.

A mis padres que estuvieron cerca y pendiente de mí.

A mi compañera Edith por estar en constante apoyo durante el estudio y en mi desarrollo profesional.

JOSÉ DAVID ROMERO CUERVO.

AGRADECIMIENTOS

Queremos dar gracias a nuestros profesores en especial al ingeniero Gustavo Chío Cho por su asesoría y apoyo incondicional por compartir sus conocimientos y darnos la oportunidad de crecer como profesionales.

A nuestros compañeros que fueron de gran ayuda en el aprendizaje constante de nuestra vida universitaria y que seguirán siendo un apoyo inmenso en la realización de los sueños futuros.

También agradecemos a la Universidad Industrial de Santander sede Barbosa por darnos la oportunidad de ingresar a la familia UIS, y a nuestras familias que formaron como parte fundamental y superar etapas de nuestras vidas cuando los necesitábamos.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
1. INTRODUCCIÓN AL SISTEMA GPS.....	15
2. USOS Y APLICACIONES ACTUALES DEL GPS.....	16
3. ARTÍCULOS IMPORTANTES REFERENCIADOS A LA DEFLEXIÓN DE UNA ESTRUCTURA	17
3.1. DEFLEXIÓN Y CONTROL DE LA FRECUENCIA DEL PUENTE FORTH ROAD EN ESCOCIA, POR MEDIO DE GPS	17
3.2. EL USO DEL GPS DE FRECUENCIA SIMPLE PARA MEDIR DEFORMACIONES Y DESVIACIONES DE UNA ESTRUCTURA	18
4. SISTEMAS DE MONITOREO.....	19
4.1. Sistema de medición	19
5. DISPOSITIVOS DE UN SISTEMA DE MONITOREO	19
6. PROPUESTA DE MONITOREO DE DEFLEXIONES EN EL VIADUCTO LA FLORA POR MEDIO GPS/GNSS.....	21
6.1. Arquitecturas básicas	22
6.2. Arquitecturas por proveedor	22
6.3. Obtención de datos y resultados	23
7. OTROS DISPOSITIVOS PARA EL MONITOREO DE UNA ESTRUCTURA....	24
8. CONCLUSIONES.....	24
REFERENCIAS	25
9. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....	26

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de dispositivos usados en el monitoreo del Foth Road.....	17
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de funcionamiento de GPS.....	16
Figura 2. Aplicaciones actuales del GPS/GNSS.....	16
Figura 3. Localización de los receptores en el puente.....	17
Figura 4. Antena choke-ring Leica localizada sobre la baranda del puente.....	18
Figura 5. Comparación de dispositivos de un sistema de monitoreo.....	20
Figura 6. Viaducto Armando Puyana Puyana "La Flora", fuente: viajeros.com.....	21
Figura 7. Dimensionamiento en planta y transversal del viaducto.....	21
Figura 8. Ubicación de dispositivos en el viaducto.....	22
Figura 9. Arquitectura de Receptor GPS/GNSS.....	22
Figura 10. Red de estaciones de monitoreo continuo.....	22
Figura 11. Arquitectura de Leica Geosystems.....	23
Figura 12. Arquitectura de Trimble.....	23
Figura 13. Estructura de la obtención de datos en un sistema de monitoreo.....	23

RESUMEN

TITULO: MONITOREO DE DEFLEXIONES DE UNA ESTRUCTURA POR MEDIO DE GPS: ESTADO DEL ARTE.*

AUTOR(ES): Edith Lorena Piñarete Camacho, José David Romero Cuervo. **

PALABRAS CLAVES: Deflexiones, Sistema de Posicionamiento Global GPS, Sistema de monitoreo, Topografía.

DESCRIPCION:

El contenido de este libro hace referencia a un estudio investigativo de los dispositivos GPS más usados en el monitoreo de deflexiones de una estructura teniendo en cuenta el factor precisión que si bien es cierto es el punto más importante a la hora de desarrollar un trabajo en el que se va a involucrar medidas milimétricas y centimétricas; en estos dispositivos podemos encontrar sensores, antenas, radio modem y estaciones totales.

También se expone como es el funcionamiento satelital de todo un sistema de rastreo desde que se emite la señal hasta que obtiene el resultado; se hace un énfasis en el sistema de monitoreo de un puente teniendo en cuenta sus condiciones geográficas y estructurales, se muestran dos alternativas en las que se emplean dispositivos y obtención de datos diferentes; lo ideal es poder dar a conocer cuál de estas alternativas es la más viable económicamente y cual la más precisa.

Se expone como es el funcionamiento y procedimiento de medición de una serie de dispositivos que permite conocer el estado que se encuentra la estructura, donde se propone una serie de arquitecturas de su funcionamiento. El proveedor propone diferentes puntos donde se instalaran los dispositivos necesarios para obtener y resolver los datos durante el proceso de monitoreo.

* Trabajo de grado.

** Facultad de ingenierías físico mecánicas. Escuela Ingeniería Civil. Director Ing. Chio Cho Gustavo.

ABSTRACT

TITLE: DEFLECTIONS MONITORING OF A STRUCTURE THROUGH GPS: STATE OF ART.*

AUTHOR (S): Edith Lorena Piñarete Camacho, José David Romero Cuervo.**

KEYWORDS: Deflections, global positioning system GPS, monitoring system, surveying.

DESCRIPTION:

The contents of this book refers to a study research of GPS devices used in monitoring deflections of a structure considering the precision factor although it is the most important point when developing a job where we have to use millimeter and centimeter measures, in these devices can find sensors, antennas, radio modem and total stations.

Also on display as the workings of an entire satellite tracking system since the signal is emitted until it gets the result, we really emphasize about monitoring system of a bridge considering its geographical and structural conditions, there are two alternatives which used data collection devices and different, ideally to make known which of these alternatives is the most economically viable and what the most accurate.

It is showed the operation and measurement procedure a number of devices which allows to know the state of the structure, where is propose a series of architectures operation. The provider propouse different points where necessary devices were installed to obtain and resolve data during the monitoring process.

* Final undergraduate Project.

** Physucs Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering School. Director: PhD. Gustavo Chio Cho.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de sistemas de posicionamiento global (GPS) aplicado a la ingeniería civil en el tema de salud estructural, ya que se encarga de controlar y vigilar de manera minuciosa las condiciones de salud de una obra civil; en este caso se enfocará en el control de deflexiones para determinar si la estructura no presenta un peligro para la sociedad.

El principal objetivo es poder entregar un estudio detallado de los posibles dispositivos GPS que sirven y proporcionan la ayuda necesaria para entregar un resultado donde se pueda conocer por medio de los datos de salida las condiciones de la estructura.

Se pueden encontrar desplazamientos tanto horizontales como verticales, obtenidos de un conjunto de dispositivos tecnológicos que van a estar todo el tiempo emitiendo señal satelital ya que esta será la principal fuente de trabajo en el campo de monitoreo.

Para realizar este trabajo es necesario conocer desde la creación del sistema GPS [1] [2], hasta los grandes avances de la actualidad para poder analizar qué dispositivos serán útiles y cuales los que más se ajusten al trabajo que se requiere; entonces se buscaran cuáles son las empresas pioneras en la distribución de esta tecnología y cuál es el apoyo técnico que brindan al usuario y así decidir cuál es la mejor opción para el trabajo que se desee realizar.

Los sistemas de monitoreo por medio de GPS trabajan con dos sistemas de medición; tiempo real (RTK) y Post-Proceso, entonces se analizará que dispositivos entregan mayor precisión y confiabilidad durante el proceso de monitoreo.

Finalmente en el trabajo se presentan las pautas para realizar el respectivo sistema monitoreo en una estructura (Puente), los dispositivos y el mejor sistema de medición para la obtención de datos.

1. INTRODUCCIÓN AL SISTEMA GPS

El sistema de posicionamiento global (GPS) hace referencia a una red de satélites que orbitan la tierra en puntos fijos por encima del planeta y transmiten señales a cualquier receptor GPS en la tierra. Estas señales llevan un código de tiempo y un punto de datos geográficos que permite al usuario identificar su posición exacta, la velocidad y el tiempo en cualquier parte del planeta.

La tecnología GPS está cada vez más centrada a las necesidades precisas de posicionamiento catastral, ingeniería, medio ambiente, planificación y sistemas de información geográfica (SIG), encuestas, y en la aplicación en una amplia gama de terrenos precisos, el aire y la navegación marítima.

Las atracciones del GPS como una tecnología PNT (Posicionamiento, navegación y tiempo) incluyen [3]:

- Alta precisión de posicionamiento, que van desde metros hasta el nivel de milímetro.
- La capacidad de determinar la velocidad y el tiempo, con una precisión acorde con la posición.
- No intervisibilidad de estaciones terrestres de GPS que requieran de alta precisión y posicionamiento.
- Los resultados se obtienen con referencia a un único dato global.
- La información de posición se proporciona en tres dimensiones.
- Las señales están disponibles para los usuarios en cualquier lugar por encima de la tierra, en el aire, en el espacio, en el suelo, o en el mar.
- No existen cargos a los usuarios.
- Relativamente con bajo costo en el uso del hardware.
- Un sistema para cualquier estación, disponible 24 horas al día.

El sistema GPS (sistema de posicionamiento global) / GNSS (sistema global de navegación

por satélite) comprende tres segmentos diferentes: ver figura 1.

- El segmento espacial está constituido por satélites y constelaciones de diferente número de satélites o conjuntos de plataformas estratosféricas ubicadas en posiciones fijas en el espacio, todo diseñado con el fin de establecer la posición para luego ser enviada al usuario siendo previamente analizada y monitorizada por el segmento de control para que no exista errores.
- Cuando el segmento de control recibe la información, la monitoriza y actualiza, luego envía correcciones en caso de que exista un error en el satélite a causa del tiempo atmosférico.
- Finalmente, el segmento de usuario recibe información procedente del segmento espacial y calcula la posición requerida.

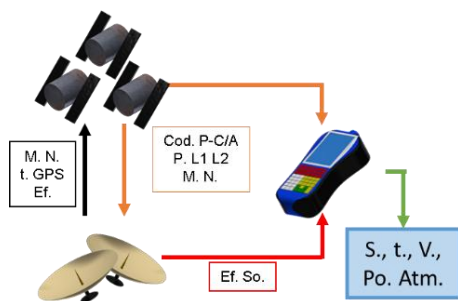


Figura 1. Estructura de funcionamiento de GPS [4]. M. N.: Mensaje de navegación; t: tiempo; Ef.: efemérides; P.: Portadoras; S.: Posición; Po.: Parámetro; V.: Velocidad; So.: Precisión.

El cálculo de la posición dependerá de la posición del satélite y el reloj del mismo.

Es decir, que el sistema de posicionamiento global GPS ha sido el resultado de diferentes sistemas de posicionamiento y métodos de medición que permitieron una gran ayuda para la localización y descripción de una zona geográfica. Actualmente el GPS (sistema de posicionamiento global) / GNSS (sistema global de navegación por satélite) es una

herramienta útil en diferentes áreas como geotecnia, infraestructura e ingeniería civil.

2. USOS Y APLICACIONES ACTUALES DEL GPS

Durante los últimos años, las nuevas tendencias para la utilidad del GPS (sistema de posicionamiento global) / GNSS (sistema global de navegación por satélite) han logrado obtener una gran cobertura y liderazgo en los sistemas de monitoreo y vigilancia permitiendo innovar y diseñar soluciones que respalden a las necesidades de cada situación que se presente en diferentes áreas u oficios, Ver figura 2. [3]

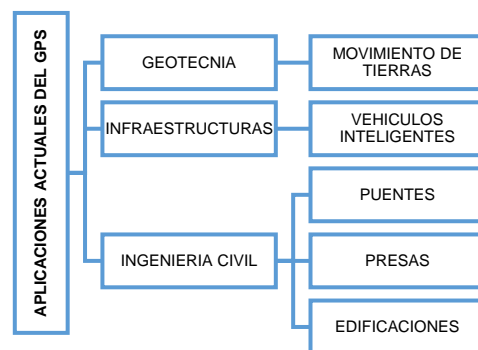


Figura 2. Aplicaciones actuales del GPS/GNSS.

Los sensores geotécnicos permiten evaluar y determinar movimientos geotécnicos y valores actuales de los vectores de deformación de la corteza terrestre y consecuentemente investigar cuáles son las principales fuerzas que producen esas deformaciones.[5]

En el desarrollo de sistemas de transporte se buscan alternativas de mejoramiento de flujo vehicular y reducción de la accidentalidad hasta de un 80% gracias al sistema RTK (cinemático en tiempo real, por sus siglas en ingles Real Time Kinematic). [6]

En la implementación del sistema de posicionamiento global GPS en la construcción de grandes obras civiles como lo son túneles, vías, puentes y edificaciones se ha

logrado obtener grandes ventajas en la adecuada construcción de una obra, [7] [8] [9] [10] tales como:

- Garantiza una planificación y construcción adecuada.
- Brinda un flujo de datos en tiempo real.
- Brinda seguridad en el desarrollo de la construcción.

El sistema posicionamiento global GPS ha buscado métodos de control y vigilancia de estructuras artificiales y naturales como un factor de salud estructural proporcionando el nivel de riesgo natural o artificial de un evento.

3. ARTÍCULOS IMPORTANTES REFERENCIADOS A LA DEFLEXIÓN DE UNA ESTRUCTURA

3.1. DEFLEXIÓN Y CONTROL DE LA FRECUENCIA DEL PUENTE FORTH ROAD EN ESCOCIA, POR MEDIO DE GPS [11]

El Instituto de ingeniería y topografía geodesia espacial (IESSG) de la Universidad de Nottingham y la Universidad de Brunel del Reino Unido, conjuntamente se encargaron de realizar un monitoreo de deflexiones y control de frecuencias; tarea en la cual reunieron en un periodo continuo de 46 horas a una velocidad de 10 Hz, los datos de los receptores GPS ubicados en el puente Forth Road de Escocia en el año 2005.

Para el monitoreo se instaló una serie de receptores GPS ubicados a lo largo del puente así: a $1/4L$ (punto B), $3/8L$ (punto C), $1/2L$ (punto D y F) y $3/4L$ (punto E), (L: Luz del puente), en la torre más alta (puntos A1 y A2), dos estaciones de referencia (puntos Ref.1 y Ref.2) cercanas al puente para el almacenamiento y control de los datos, (ver Figura 3) adicionalmente se ubicó antenas Choke-ring Leica a lo largo de las barandas del puente, ver Figura 4.

La obtención de los datos del monitoreo se realizó por medio del sistema de medición Post-Proceso, usaron el método dinámico cinemático OTF (Al instante, por sus siglas en ingles On The Fly), y para el procesamiento y análisis se usó el software de Leica Geo Office. Este procesamiento usa la fase portadora ya que ésta proporciona una medida mucho más precisa que la que se consigue utilizando el código C/A (código de adquisición gruesa) el cual solo modula a la fase portadora L1, mientras la fase portadora modula con las fases L1 y L2.

Los dispositivos que usaron para el respectivo monitoreo son los siguientes: ver tabla 1.

Tabla 1. Tipo de dispositivos usados en el monitoreo del Foth Road.

Dispositivos	Ubicación
Leica SR530	$\frac{1}{4}L, \frac{3}{8}L, \frac{1}{2}L$, Punto de Ref. y en la Torre oeste
POS RS NovAtel	$3/4L$
Leica GX1230	$1/2L$
Leica 510	Torre Éste

En la toma de datos se vieron involucrados factores como: vientos de hasta 80 km/h, tráfico constante de carga pesada en horas de la mañana y de la tarde. El puente fue cerrado para realizar una serie de ensayos de manera controlada con dos camiones de carga de 100 toneladas cada uno; obteniendo de esta manera la condición de carga más controlada de todos los ensayos realizados.

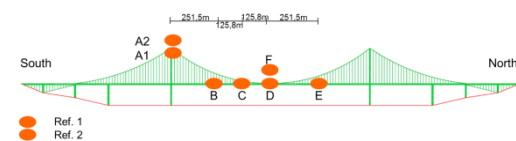


Figura 3. Localización de los receptores en el puente.



Figura 4. Antena choke-ring Leica localizada sobre la baranda del puente.

Como resultado de las 46 horas de diferentes pruebas para demostrar una amplia información acorde al estado de la estructura se pudo obtener lo siguiente:

- Una muestra de los datos en bruto.
- Un patrón típico de desviaciones semi-estáticas.
- Frecuencia dinámica extraída de un periodo en que la estructura fue sometida a la acción de las cargas.

Las evaluaciones basadas con el GPS dan lugar a más información sobre el estado de obras civiles y un mejor conocimiento del rendimiento en el servicio. Los dispositivos GPS no son económicos y mantenerlos en su posición sobre una base a largo plazo no sería posible.

Con este monitoreo se pudo concluir que este tipo de monitoreo puede arrojar datos valiosos para poder determinar las condiciones estructurales del puente como rigidez, desviaciones longitudinales y laterales, temperaturas, velocidades del viento.

3.2. EL USO DEL GPS DE FRECUENCIA SIMPLE PARA MEDIR DEFORMACIONES Y DESVIACIONES DE UNA ESTRUCTURA [12]

La Universidad de Nottingham (UoN) en los últimos años, ha realizado seguimiento de estructuras (puentes) por medio del GPS y receptores de frecuencia dual obteniendo

buenos resultados. Con la colaboración de la Universidad de Brunel (UB) en el puente de Humber en Inglaterra proporcionando un modelo de elementos finitos FEM del puente, para la evaluación de los datos reales. Se llevaron a cabo varios ensayos, uno de los cuales consistía en: ubicar cinco camiones totalmente cargados, se comparan los datos del GPS con los del FEM presentando datos de desviaciones y frecuencias, este tipo de ensayo también se realizó en el puente el Milenio en Londres.

La UoN y la Universidad de Camfrid (CU) con la colaboración de Network, Leica Geosystemes y WS Atkins desarrollaron un sistema de monitoreo en tiempo real para puentes y estructuras y poder determinar su estado. La integración de los datos de GPS y acelerómetros busca mitigar errores de ambos sistemas y aumentar la velocidad del muestreo de los datos.

La implementación de receptores de frecuencia simple presenta una debilidad con respecto al tiempo de resolver los datos de posicionamiento comparado con los receptores de frecuencia dual.

El paquete de software kinpos es un software GPS desarrollado por el IESSG, para la obtención de datos de frecuencia dual y a la vez adaptada para resolver frecuencias con el método de medición OTF, tarda entre 11 y 15 minutos para resolver la ambigüedad de los datos.

El rendimiento de los receptores de frecuencia simple y dual procesan de manera diferente, kinpos logra procesar datos de frecuencia simple y luego dual. El uso de filtros adaptativos en multitrayectoria visualiza una comparación de datos empleando Matlab.

La constelación GPS diariamente se desplaza alrededor de 4 minutos, debido a la diferencia entre el tiempo real y la hora universal. Al reincidir la multitrayectoria en la obtención de un sistema estático o semi-estático se logra obtener en dos días consecutivos la

información para la extracción del movimiento real del puente.

El aumento de la velocidad del muestreo en una solución GPS solo logro mejorar la precisión para un sistema híbrido como el receptor GPS y acelerómetro. Inicialmente se obtiene un muestreo lento de multitrayectoria con el GPS a comparación con el acelerómetro para una obtención de frecuencias altas. Se presentan dificultades en la captación de vibración lentas y su composición está organizada por factores de escala dentro de unos sesgos instrumentales permitiendo aumentar el tiempo. Al implementar los filtros adaptadores como complemento de integración de datos del GPS para una solución de posicionamiento permite con rapidez un acelerómetro triaxial dando datos acelerados con tiempo dos veces mayor del que se puede emplear para la obtención del desplazamiento.

4. SISTEMAS DE MONITOREO

El sistema de monitoreo está constituido por una serie de dispositivos y software que permiten vigilar y controlar una estructura. Así mismo se encarga de definir la posición, de tomar los datos y entregar un resultado con el mínimo error.

4.1. Sistema de medición

En el sistema de medición hay dos formas viables para la obtención de datos:

- Post-proceso.
- RTK o tiempo real.

El post-proceso es un procedimiento de corrección y cálculo de las coordenadas de los puntos posteriores a la medición; aplica dos métodos:

- Estático y dinámico.

El método estático se encarga de buscar la coordenada conocida del receptor que puede tardar un par de minutos, usualmente puede emplear tres o cuatro satélites para su ubicación, donde tres de ellos permite conocer la coordenada y el cuarto hace la prueba de error del posicionamiento.

El método dinámico es el rendimiento de los trabajos realizados con GPS. Existen tres métodos diferentes que hacen parte del método dinámico, cada uno de ellos evalúa la posición de diferentes formas, estos métodos son: STOP & GO (detenerse y seguir), Cinemático y OTF (Al instante, por sus siglas en ingles On The Fly). [13]

El RTK o tiempo real se basa en la solución de la portadora de las señales transmitidas por los sistemas globales de navegación por satélite GNSS, Glonass y Galileo, este último todavía en fase de implantación. Una estación de referencia provee correcciones instantáneas para estaciones móviles, lo que hace que con la precisión obtenida se llegue al nivel centimétrico [13].

5. DISPOSITIVOS DE UN SISTEMA DE MONITOREO

Los dispositivos de un sistema de monitoreo de deformación estructural permiten trabajar en diferentes medios que hacen parte de un entorno de trabajo, desarrollando tareas de mediciones en tiempo real y post-procesamiento con dispositivos de gran precisión para auscultación estructural, control y vigilancia por sensores de alta precisión garantizando información continua y segura durante su utilidad dentro del monitoreo de una estructura artificial o natural [14].

Estación total. Se ubica como una estación de referencia móvil para la correlación de datos que emiten los otros dispositivos de medición. Es aplicada para la medición y control de deformación de estructuras como presas, puentes, movimiento de tierras y construcciones civiles [15].

Receptor GNSS. Es un sistema de dispositivos y software que permite determinar posicionamiento, velocidad y tiempo en un punto de la estructura.

Geotécnicos. En el sistema de monitoreo permite la manipulación de instrumentos geotécnicos para los movimiento de inclinación de una estructura con alta precisión a partir de un sensor de inclinación que permite realizar monitoreo en tiempo real entre

dos eje dimensionales.

Sensores meteorológicos. Son dispositivos de complemento a los receptores de GNSS para brindar datos de presión atmosférica, humedad, temperatura que ofrece junto a los datos del GNSS.

Actualmente existen diferentes proveedores que han desarrollado sus propios dispositivos, en la figura 5 muestran algunos de los dispositivos principales del sistema de monitoreo que están al alcance del usuario.

Figura 5. Comparación de dispositivos de un sistema de monitoreo

DISPOSITIVOS	LEICA GEOSYSTEMS	TRIMBLE	TOPCOM
ESTACIÓN TOTAL			
	TM30	S8	IS-3
	1 mm ± 1 ppm	4 mm ± 2 ppm	Sistema de medición
RECEPTOR			
	GM10	NetR9	NET-G3A
	3 mm ± 0.5 ppm	3 mm ± 1 ppm	Sistema de medición
ANTENA			
	AR20	GNSS Choke Ring Antenna	CR-G5
	1 mm	2 mm	Sistema de medición

6. PROPUESTA DE MONITOREO DE DEFLEXIONES EN EL VIADUCTO LA FLORA POR MEDIO GPS/GNSS

El viaducto Armando Puyana Puyana, conocido como viaducto La Flora, es una de las soluciones viales de Bucaramanga que permite conectar el sector oriental de la ciudad con el sur del área metropolitana [16].

Es una estructura de concreto pretensado, construido con un sistema de pila y losa con una longitud de 298.3 metros. Consta de dos estribos, un el norte y uno en el sur de la estructura y ocho pares de pilas.

El tablero se encuentra dividido en cuatro juntas donde dos ubicadas en los estribos una en el segundo par de pilas y las otras entre el tercer y sexto par de pilas; con una altura máxima de 46 metros, una luz máxima de 39 metros. El puente tiene un ancho de 25 metros consta de tres carriles y un sendero peatonal en cada sentido. La figura 6 muestra una vista del viaducto. La figura 7 muestra el dimensionamiento del viaducto [16].

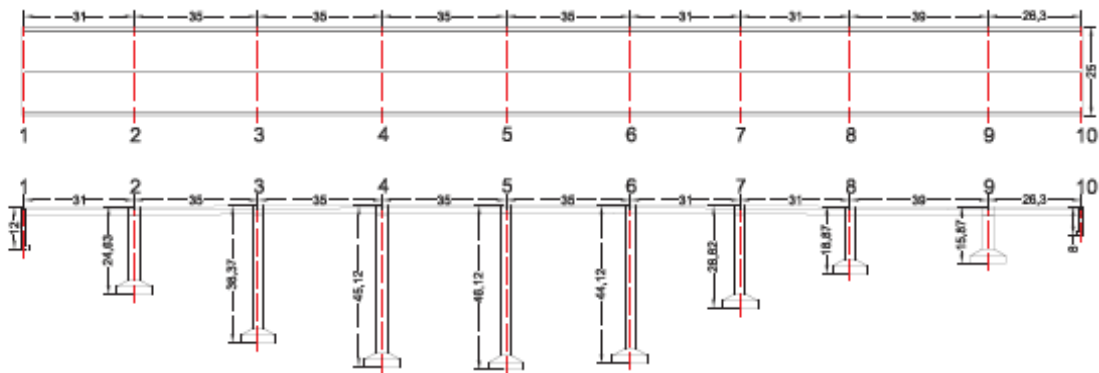


Figura 7. Viaducto Armando Puyana Puyana "La Flora", fuente: viajeros.com

El diseño del sistema de monitoreo para una estructura como el viaducto, emplea una serie de pasos que permite concluir cuales dispositivos se deben emplear para su monitoreo:

- Visita de reconocimiento de la estructura y la zona de ubicación.
- Identificación de posibles riesgos dentro y fuera de la estructura.
- Elección del sistema de medición, en tiempo real o post-proceso.
- Ventajas y desventajas que generan los equipos de acuerdo al sistema de medición.
- Determinar el tiempo de monitoreo.
- Realización de un análisis dinámico estructural actual por computadora para conocer los rangos de medición y posibles puntos que generen daño a la estructura.
- Viabilidad del sistema, precisión, alcance y costos del sistema de monitoreo.
- Instalación y aplicación del sistema de

Figura 6. Dimensionamiento en planta y transversal del viaducto [16].



monitoreo.

La medición de deformaciones del viaducto emplea una serie de pasos que permite definir qué dispositivos se van a emplear:

- Reconocimiento de la zona y la estructura donde se van a ubicar.
- Identificar que inconvenientes se pueden presentar.
- Cuantos dispositivos se van a emplear.
- La disposición de energía y la obtención de datos (satélites).
- Intervalo de tiempo en operación y descarga de información.
- Soporte técnico disponible.

De acuerdo a los desplazamientos que se quieren identificar y según el tipo de estructura, los dispositivos deben estar ubicados en el cabezal de la pila donde descansan las vigas pretensadas del puente y en el medio longitudinal del vano. La figura 8 presenta la localización de los dispositivos en el puente.

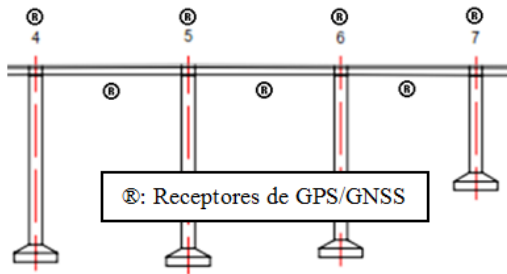


Figura 8. Ubicación de dispositivos en el viaducto.

Una vez que se determina que dispositivos se va a emplear (figura 4), se determina la arquitectura más apropiada para trabajar con la estructura y el sistema de medición.

6.1. Arquitecturas básicas

Arquitectura receptor GPS/GNSS

El receptor GPS/GNSS es un sistema de dispositivos y software. El receptor está compuesto por una antena, un receptor o radio modem, software de control y vigilancia y

software de procesamiento de datos, ver figura 9 [14].

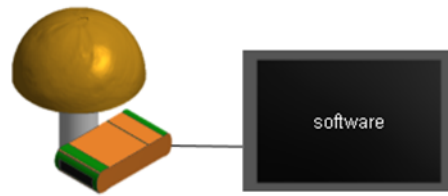


Figura 9. Arquitectura de Receptor GPS/GNSS.

Arquitectura de una red de monitoreo

Una red de monitoreo continuo está constituido por una serie de receptores de GPS/GNSS que están encargados de monitorear los desplazamientos y ángulos de inclinación de los nodos que influyen para la medición. Los datos son transmitidos por una red local WLAN o una red de internet a un receptor de control. Por ultimo un software que se encarga de tener control de cada receptor o dispositivos y un software que permite analizar los datos de ambigüedad que se obtienen por los receptores, ver figura 9 [14].

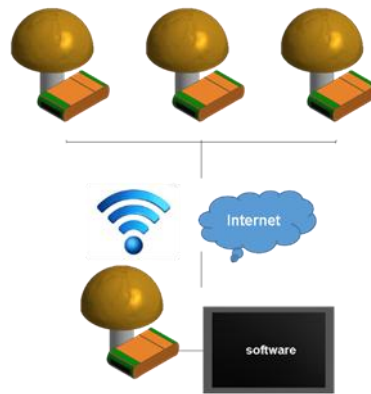


Figura 10. Red de estaciones de monitoreo continuo.

6.2. Arquitecturas por proveedor

Arquitectura Leica Geosystems

Según la asesoría técnica del señor Valderrama Willinton asesor comercial directo de Procalcúlo propone lo siguiente: la

arquitectura Leica está constituida por dos redes, una red de estaciones de monitoreo continuo por GPS/GNSS y una red de sensores geotécnicos (inclinómetros) que están siendo controlados por una estación de referencia y de control donde correlacionan los datos. Estos datos son emitidos por WLAN o internet a una estación de operación que está constituida por una estación de referencia y una caja de control por ultimo un software que analiza los datos de ambigüedad emitidos por las redes de deformación, ver figura 11.

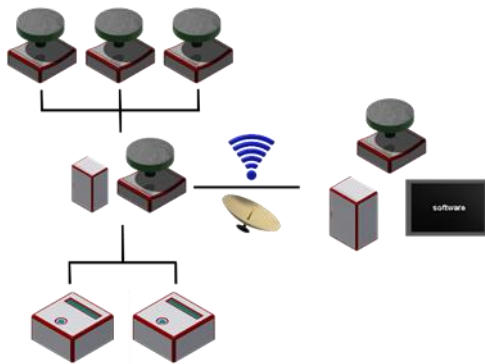


Figura 11. Arquitectura de Leica Geosystems.

Según la arquitectura de Leica para la medición del viaducto se tiene la posibilidad de utilizar una o dos redes para el monitoreo, bien sea la red de dispositivos GPS o la red de sensores geotécnicos. Al usar la red de monitoreo continuo por GPS/GNSS no depende de establecer una estación móvil para controlar los dispositivo a comparación de la red de sensores geotécnicos, es decir que cuenta con una estación de referencia que permite la fácilmente trabajar con la nube de internet y una estación de operación.

Arquitectura Trimble

Trimble ofrece dispositivos de avanzada tecnología como lo son la Estación Total S8 y el Receptor NetR9 que conjuntamente pueden procesar datos y entregar los resultados pertinentes, también pueden fácilmente detectar los movimientos críticos estructurales [17].

Para su montaje se puede usar un conjunto de receptores GPS y sensores geotécnicos que

entregan la información a la estación principal, la cual procesa y envía los datos con ayuda de la red satelital a una estación de recepción que con ayuda de un software procesa y entrega los resultados del monitoreo realizado, ver figura 12.

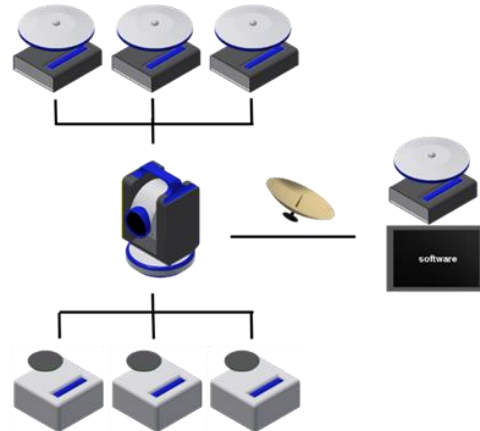


Figura 12. Arquitectura de Trimble.

6.3. Obtención de datos y resultados

Los datos y resultados se obtienen a partir del software de control de medición que permite fijar una fase o frecuencia portadora que permite trabajar con los receptores GPS/GNSS y los satélites. Una vez obtenida esa información, emplea la técnica de ambigüedad entera, que es un sistema diferencial que da como resultado coordenadas en 3D y WGS84 (coordenadas GPS), ver figura 13 [11].

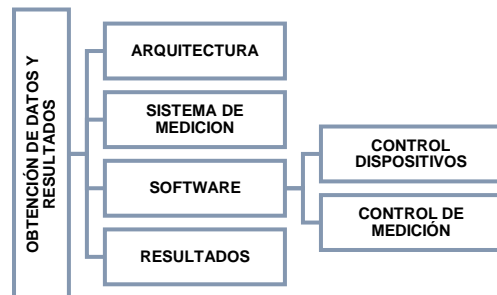


Figura 13. Estructura de la obtención de datos en un sistema de monitoreo.

Estos datos se correlacionan de acuerdo a métodos dinámicos o cinemáticos como OTF o

STOP & GO. Una vez correlacionado los datos al final se puede obtener como resultado lo siguiente:

- Análisis Estadístico.
- Control de desplazamientos en 3D.
- Frecuencias y Periodos.

Al final se compara con métodos de simulación por computadora como FEM y FFT [11].

7. OTROS DISPOSITIVOS PARA EL MONITOREO DE UNA ESTRUCTURA

Los dispositivos GPS con la principal fuente de información para este estudio, pero existen otros dispositivos que pueden determinar las deflexiones de una estructura. Permiten tener la misma o mayor confiabilidad durante el estudio del comportamiento de una estructura en tiempo real, para la obtención de datos, actualmente se emplea el láser por su bajo costo y facilidad de obtención de datos [11].

El láser ha sido un instrumento de gran importancia en el monitoreo de salud estructural durante los últimos años, en la aplicación de diferentes tipos de estructuras [18]. Las universidades de Brunel de London y Nottingham son reconocidas por ser pioneros en la implementación del sistema de medición de desplazamiento de estructuras por medio del GPS y como una nueva aplicación en el monitoreo estructural con el apoyo de diferentes proveedores líderes en el tema.

Los dispositivos de GPS/GNSS a comparación del láser, presentan diferencias como la precisión, métodos de obtención de datos, software y riesgos al utilizarlos. Por ejemplo la precisión, los dispositivos GPS/GNSS atiende llegar centimétricas-milimétrica a comparación el láser alcanza a nanométricas debido al tipo de señal que emplean.

Actualmente existen otros dispositivos que son empleados en el monitoreo estructuras, que permiten tener la misma confiabilidad como el

GPS/GNSS y el láser, están los scanner de alta precisión y los instrumentos de fotometría.

8. CONCLUSIONES

Se pudo determinar durante el desarrollo del tema de monitoreo estructural por medio del GPS que es una implementación de métodos y dispositivos que permiten conocer el estado en que se encuentran diferentes tipos de estructuras. El dispositivo es un medio de empleo del sistema de posicionamiento global GPS, depende de ellos que el sistema sea confiable en la obtención de resultados y su funcionamiento.

El sistema de monitoreo para el control de deflexiones de una estructura se podrá llevar a cabo exitosamente cuando se trabaja con equipos de alta precisión y un sistema de medición de acuerdo a las condiciones del medio, logrando obtener datos precisos y entregando resultados mucho más confiables.

Los dispositivos de monitoreo salud estructural, como los de GPS emplean dos sistemas de medición, que son: el post-proceso y tiempo real o RTK; se logró establecer que el sistema de medición más usado y de mejores características es el RTK, ya que proporciona datos y correcciones de manera instantánea y con alta precisión.

Las universidades de Brunel y Nottingham realizaron un desarrollo experimental de medición y control en estructuras por medio de GPS; usaron el puente de Humber de London y Ford Road de Escocia para dicho estudio. Se logró determinar que vale la pena invertir en un estudio tan avanzado para mejorar el desarrollo de la sociedad y permitir un avance tecnológico.

Se logró determinar que los dispositivos GPS son confiables para la obtención de datos y la entrega de resultados; teniendo en cuenta que se debe emplear un buen software y el tiempo necesario para la toma de datos.

Se logró determinar por medio de una propuesta de monitoreo estructural por medio GPS sobre el Viaducto La Flora, un procedimiento de un sistema de monitoreo por GPS/GNSS con la colaboración de Procálculo y Leica Geosystems. Adicionalmente se determinó entre los proveedores mencionados de un costo de 300'000.000 pesos para el montaje del sistema de monitoreo en el viaducto La Flora.

El tiempo de montaje de un sistema de monitoreo de deformaciones estructurales depende de los resultados que se quieren obtener en un lapso de tiempo. Lo cual depende de los dispositivos y el sistema de medición que se dese emplear durante el proceso.

REFERENCIAS

Referencias de libros

[1] MASS, Sergio. BALDEZ, Eugenio, Principios Básicos de Cartografía y Cartografía Automatizada, 1ª Edición 2003, Universidad Autónoma del Estado de México, México p 13-17.

[2] HUERTA, Eduardo. MANGIATERRA, Aldo. NOGUERA, Gustavo, GPS Posicionamiento Satelital, 1ª Edición 2005, UNR editorial, Argentina, p II-1-II-24.

[3] J BOSSLER. Manual of Geospatial Science and Technology, Second Edition 2010. United States of America, CRC Press, p95-104.

[7] ASHKENAZI V., Roberts G., Experimental monitoring of the Humber Bridge using GPS, Institute Civil Engineers, 1997, Reino Unido.

[8] GALAN D., Marchámalo M., Martínez R., Sánchez A., La tecnología DGPS en la construcción: control de movimientos en grandes estructuras, Informes de la construcción, 2011, España, p 93-102.

[9] BROWN C., Meng X. Roberts G., Developments in the use of GPS for bridges monitoring, Institution of Civil engineers, 2006, Reino Unido.

[13] HUERTA, Eduardo. MANGIATERRA, Aldo. NOGUERA, Gustavo, GPS Posicionamiento Satelital, 1ª Edición 2005, UNR editorial, Argentina, p V-1-V-30.

[14] KENNEDY C., GPS reference stations and networks and introductory guide, Leica Geosystems, Suiza, 2005.

[16] RICO P. Leocadio, Análisis del uso de aisladores de base para mejorar el comportamiento sísmico en puentes de concreto simplemente apoyados. Caso de estudio: Viaducto La Flora, Tesis de maestría de ingeniería civil, Universidad Industrial de Santander, 2011.

[17] BREUER, Christian, Trimble Monitoring Solutions, Trimble Germany, 2011.

[18] FRANCO J., Gómez D., Marulanda J., Murcia J., Thomson P., Desarrollo e implementación de un sistema laser para caracterización dinámica y medición de desplazamientos en estructuras civiles, Universidad Valle, Revista facultad de ingeniería Universidad de Antioquia, Colombia, 2011.

Referencias en Internet

[4] Introducción al sistema GPS. ftp://ftp.cefetes.br/cursos/Gematica/Pilon/GPS/GPSBasics_es.pdf [citado 03 de Mayo de 2013].

[5] Reporter 56. Monitorización de un dique de tierra por levantamiento GPS. http://www.leicageosystems.com/media/new/product_solution/Reporter_56_MAG_es.pdf. [Citado 03 de Mayo de 2013].

[6] Red RTK para vehículos inteligentes (Network RTK for Intelligent Vehicles) <http://gpsworld.com/network-rtk-for->

intelligent -vehicles/ [citado Enero 09 de 2013].

[10] Seguimiento estructuras en movimiento.
<http://www.leica-geosystems.es/es/index.htm>
[citado 11 de Noviembre de 2012].

[11] Deflection and frequency monitoring of the Forth Road Bridge, Scotland, by GPS,
<http://www.icevirtuallibrary.com/> [citado 08 Junio de 2012].

[12] The Use of Single Frequency GPS to Measure the Deformations and Deflections of Structures,
http://www.fig.net/pub/athens/papers/ts16/TS16_1_Roberts_et_al.pdf [citado 08 Junio de 2012].

[15] Soluciones de auscultación leica,
http://www.leicageosystems.com/downloads123/zz/monitoring/general/brochures/Leica_Geosystems_Deformation_Monitoring_en.pdf.

9. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

FEM. Métodos de elementos finitos.

FFT. Fast Fourier Transform (Transformada de Fourier).

WGS84. World Geodetic System 84 (Sistema Geodesico Mundial 1984).

RTK. Real Time Kinematic (navegación cinética satelital en tiempo real).

PNT. Posicionamiento basado en satélites, navegación, y tiempo.