

COMUNICACIÓN PER-CF-247-25

Bogotá D.C., 06 de mayo de 2025

A QUIEN CORRESPONDA

Referencia: CERTIFICADO LABORAL.

Asunto: CERTIFICADO-FUNCIONES.

INGETEC certifica que FABIÁN ALEXANDER CONSUEGRA GÓMEZ, identificado con cédula de ciudadanía c.c. 4.612.848, ha dirigido proyectos de Investigación en INGETEC consistentes en el uso de Monitoreo Dinámico para identificación de condición estructural y detección de daño de obras civiles y estructuras de un amplio espectro de proyectos de Ingeniería. La metodología implementada de manera innovadora en INGETEC por el Ingeniero Consuegra, clasifica como Desarrollo y Tecnología dentro del campo científico conocido como Structural Health Monitoring (SHM) en un contexto aplicado a la solución de problemas prácticos de la industria.

Estos proyectos son parte de las actividades de la Consultoría especializada de INGETEC, consistente en implementar métodos de auscultación no estandarizados y basados en la medición de microvibraciones para estudios de ingeniería estructural, asociados a: Infraestructura antigua y nueva, Puentes en construcción y en servicio, Edificios comerciales e industriales, Sistemas de generación Eléctrica asociados a componentes como Torres de Transmisión y Proyectos Hidroeléctricos, estructuras portuarias, y sistemas industriales para transporte de material, entre otros.

La metodología implementada se deriva de la perspectiva desarrollada por el Doctor Consuegra en sus investigaciones académicas y de Consultoría, a través del uso de un modelo no-lineal elástico, más refinado y preciso, que el modelo lineal-elástico tradicionalmente usado en la Consultoría y en muchos enfoques científicos de SHM. El procesamiento de señales implementado por el Ingeniero Consuegra se basa tanto en métodos populares como el análisis en el dominio de frecuencia mediante transformaciones de Fourier, así como técnicas más especializadas como la transformada de Hilbert que representa la naturaleza cambiante de un sistema no-lineal a través del concepto de frecuencia instantánea mediante la representación de una señal en un espacio complejo (parte real e imaginaria de la señal). Estos proyectos corresponden a

investigación técnica aplicada en el contexto práctico de la industria para suministrar soluciones, mediante una línea de conocimiento que continúa evolucionando en el gremio científico, y que complementa la consultoría tradicional que se basa en la aplicación rigurosa de normativas y estándares de diseño.

Los siguientes son aspectos comunes a todos los proyectos investigativos descritos a continuación, en relación con el rol de director investigativo del Ingeniero Consuegra: a) los proyectos fueron liderados con presencia en campo y oficina del Ingeniero Consuegra durante cada fase de los trabajos; b) como aspecto particular de la metodología, durante la ejecución de las pruebas de campo el ingeniero Consuegra ejecuta un preprocesamiento de los datos conforme avanzaban los ensayos, para la toma de decisiones del esquema siguiente de medición y que garantiza la razonabilidad de los datos; c) el procesamiento de los datos fue desarrollado en scripts de lenguaje científico escritos de forma específica por el Ingeniero Consuegra para cada caso particular; d) Los resultados de diversos trabajos fueron presentados en conferencias en un formato técnico/científico preparado directamente por el Ingeniero Consuegra; e) El diseño de cada prueba, desde su análisis numérico preliminar hasta la selección y configuración del sistema de adquisición de datos, así como el montaje de cada prueba y el arreglo de sensores durante los trabajos de campo, estuvieron a cargo de la responsabilidad directa del Ingeniero Consuegra.

A continuación, se presenta una selección de proyectos investigativos dirigidos por el Ingeniero Consuegra en el ámbito de ingeniería estructural en INGETEC:

1. RUTA DEL SOL SECTOR 3

Dedicación total 6 H-mes: Más de 50 puentes antiguos de diversas tipologías (concreto reforzado, concreto postensado, metálicos, cerchas, en arco, losas de concreto, entre otros) que hacen parte de la infraestructura principal de Colombia en los Departamentos de Bolívar, Cesar y Magdalena (con una extensión total del proyecto de más de 1000 km), fueron investigados con técnicas de monitoreo dinámico para complementar los estudios tradicionales de reforzamiento basados en ensayos destructivos como extracción de núcleos y muestras de refuerzo. El proyecto permitió establecer los aspectos más relevantes de la condición estructural para lograr una modelación más realista de los puentes (Sap2000, CSI Bridge, LARSA 4D, MathCad), con el fin de calibrar dichos modelos numéricos usados para el diseño del reforzamiento de puentes con longitudes hasta de 60 m. Adicionalmente, el Monitoreo Dinámico fue usado para confirmar niveles

de presfuerzo en los puentes existentes, así como el nivel de deterioro por fisuración debida a condiciones de tráfico superiores a las originales de diseño, y así emitir recomendaciones complementarias a los diseños de reforzamiento. Estos estudios especializados fueron ejecutados en el marco de los estudios contratados por Constructora Ariguaní S.A.S. entre septiembre de 2010 y junio de 2014.

2. CASAS DE MÁQUINAS DE ALTO Y BAJO TULUÁ

Dedicación total 0.5 H-mes: Las casas de máquinas de las Centrales Hidroeléctricas de Alto y Bajo Tuluá de la Empresa de Energía del Pacífico S.A., EPSA, fueron sometidas a un ataque terrorista mediante la detonación de explosivo dentro de las instalaciones, lo cual desencadenó posteriormente fuego que fue un aspecto incorporado en el estudio. El proyecto de investigación consistió en el monitoreo dinámico de las estructuras ante vibraciones ambientales y vibraciones inducidas, con el fin de caracterizar el sistema estructural que fue impactado por la explosión, y con ello estimar la extensión del daño en los elementos y hacer las recomendaciones de reparación. Se calibraron modelos numéricos en función de las frecuencias dominantes de la estructura asociadas a flexión y torsión en las dos direcciones principales en planta de las estructuras. Se compararon las respuestas en frecuencia medidas en columnas sin afectación y aquellas columnas más afectadas por la detonación y el posterior fuego, para establecer la magnitud de la degradación de rigidez. Dicha degradación de rigidez evidenciada con el procesamiento de los datos medidos fue consistente con la temperatura estimada para el fuego generado y evidenciado por aspectos como la coloración del concreto. El área aproximada de cada casa de máquinas es del orden de 1,000 m². El estudio fue ejecutado entre febrero y marzo de 2013.

3. RECINTO DE ESTADORES DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA TASAJERA

Dedicación 2.5 H-mes: Con el fin de evaluar la condición estructural del recinto que protege la turbina de generación de la central, se diseñaron pruebas específicas de vibraciones libres, forzadas y de impacto, en la obra civil que exhibe agrietamiento. Con el fin de ejecutar las mediciones de campo se definió un esquema específico de pruebas para limitar con precisión los tiempos de detención de la operación. La modelación numérica se ejecutó en el software científico Abaqus para estimar los efectos de temperatura, vibración por operación de la central y retracción del concreto, con el fin de diagnosticar la condición estructural del recinto y las medidas remediales respectivas. El estudio fue ejecutado entre septiembre de 2019 y junio de 2020 y fue contratado por EPM.

4. MONITOREO DINÁMICO PARA RÁPIDA DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL DE PLANTA INDUSTRIAL

Dedicación 1.5 H-mes: Para asistir la toma de decisiones de inversión asociadas a la condición estructural de una planta industrial de más de 13 mil m² de extensión en un tiempo limitado de evaluación, se diseñó la ejecución de pruebas dinámicas para estimar el grado de conservación de la planta y las necesidades de reparación en función de la interpretación de las mediciones dinámicas. Un esquema robusto de acelerómetros en disposiciones a nivel de campo, estructura principal y cubierta, fue dispuesto para capturar las particularidades de campo lejano (medición de espectros de Nakamura para caracterizar el periodo principal del suelo) y su potencial sísmico, así como calibrar modelos numéricos para evaluar la condición estructural. El estudio contratado por VOGUE S.A.S. fue ejecutado entre septiembre y noviembre de 2015.

5. VIBRACIONES PERCEPTIBLES, EDIFICIO Comercial en Bogotá

Dedicación 1.0 H-mes: Las vibraciones percibidas en un edificio comercial de 7.700 m² fueron evaluadas mediante un robusto esquema de medición de micro-vibraciones, en condición ambientales con y sin tráfico, con circulación de tráfico controlado y mediante la caracterización del suelo circundante con mediciones de campo. Se determinaron funciones de transferencia entre la cimentación y la cubierta del edificio, para identificar las frecuencias del edificio en condición empotrada y así aislar el efecto de la cimentación flotante sobre suelos blandos y con ello poder identificar la fuente probable de la vibración percibida. También se identificaron los modos de vibración mayormente activados por las condiciones de ondas superficiales al paso de los vehículos pesados, como hipótesis acerca de la causa de las vibraciones percibidas y su relación con la seguridad y estabilidad del edificio. El estudio fue contratado por RSA y ejecutado entre agosto y septiembre de 2014.

6. RASTREO NO-LINEAL DE DAÑO DEL PUENTE MOLINILLA SOGAMOSO

Dedicación 3.3 H-mes: Un esquema consistente y repetitivo de mediciones y post-procesamiento de datos de campo, fue implementado durante 11 meses en un puente de infraestructura en Colombia sometido al efecto de movimientos de masa del suelo circundante. El seguimiento estructural además de la medición de micro-vibraciones, incluyó inspección, medición de fisuras, levantamiento topográfico y registro de inclinómetros. En contraste con la suposición de un modelo lineal-elástico, el post-procesamiento de los datos de vibraciones fue ejecutado con base en la suposición

de la dependencia entre los parámetros dinámicos del puente y la amplitud del movimiento, con el fin de identificar de manera más precisa la condición estructural del puente y hacer seguimiento de su seguridad y acompañar su funcionamiento hasta el cierre del puente.

Producto de dicho acompañamiento a través de este proyecto investigativo, se formularon y evaluaron condiciones de falla estructural, y se emitieron diseños de reforzamiento temporal para estabilización, así como acciones remediales y medidas de restricción del tráfico. El puente consistió en un sistema de placa y vigas presforzadas, curvo en planta y de longitud total de 60 m, y el estudio fue contratado por ISAGEN y ejecutado entre julio de 2017 y mayo de 2018.

7. PUENTE MARIANO OSPINA PÉREZ GIRARDOT

Dedicación 3.75 H-mes: El proyecto de investigación se ejecutó en un puente colgante de más de 70 años de antigüedad y con evidencia de fatiga, con la necesidad de extender su vida útil mediante acciones de rehabilitación y reforzamiento. El componente investigativo de este proyecto en el puente incluyó, entre otros: a) pruebas de propagación de ondas para identificar el tipo de cimentación en ausencia de planos de construcción y restricción de una excavación segura por los niveles del río, b) medición de fuerza en los 48 extremos de los cables principales para verificar la estabilidad global, c) identificación de los primeros 10 modos de la superestructura en términos de frecuencias y relaciones de amortiguamiento, d) prueba de carga pseudo-estática para medir la línea de influencia al paso de un vehículo pesado específico mientras se monitoreaba la micro-deformación en las barras de anclaje y la cercha principal de rigidez, así como la variación no-lineal de la fuerza en cada cable, e) modelación numérica a nivel científico con Abaqus para verificar el mecanismo causante de fatiga y ruptura de alambres de cables principales, así como la distribución de esfuerzos en núcleo de concreto causada por el tensionamiento de barras de alta resistencia durante la reparación. El puente que ha hecho parte de la infraestructura principal nacional, está conformado por un tramo colgante de 150 m y tres luces de aproximación que suman una longitud total de 100 m.

El estudio fue contratado por la Concesión RUTA 40 y ejecutado entre febrero de 2021 y febrero de 2023 aproximadamente.

8. BANDAS TRANSPORTADORAS Y TORRES SOBRE SILOS YOPAL

Dedicación 1.0 H-mes total: El proyecto investigativo permitió la evaluación estructural en el sitio en condiciones actuales de un sistema de transporte de insumo para producción energética, el cual consiste en bandas transportadoras en una extensión de 400 m y torres de apoyo ubicadas sobre silos de almacenamiento de 10 mil toneladas y que se elevan a 24 m de altura sobre el suelo. El Ingeniero Consuegra construyó y configuró el sistema de instrumentación usado en sitio, para medir aceleración y deformación (strain) directamente sobre las torres y las bandas y de manera simultánea y sincronizada, con el fin de evaluar la elasticidad de las estructuras mediante contraste de diferentes parámetros físicos. Dicho contraste de mediciones se hizo para disminuir la dependencia del análisis en el modelo numérico ejecutado tradicionalmente a priori en oficina, y con ello hacer una evaluación más directa de las estructuras. Las microvibraciones fueron medidas en diferentes condiciones de operación y carga del sistema de transporte, con el fin de emitir un diagnóstico estructural más extenso y asociado a las condiciones de servicio realistas y luego extrapoladas a las condiciones extraordinarias de diseño. Dentro del estudio se incorporó la no-linealidad geométrica de la estructura, como insumo para determinar el nivel de daño derivado de un estado de grandes deformaciones que no puede ser capturado por la modelación numérica tradicional para diseño. Junto con las mediciones de campo se construyeron modelos numéricos para interpretación de los datos y emitir recomendaciones finales de reparación y futuros estudios.

El proyecto fue contratado por la Corporación DIANA y fue ejecutado entre febrero y marzo de 2025.

9. MONITOREO DINÁMICO PARA DISEÑO DE LA DEMOLICIÓN DEL ANTIGUO PUENTE PUMAREJO EN BARRANQUILLA

Dedicación total 1.0 H-mes: Con el fin de ejecutar una demolición parcial en el antiguo puente Pumarejo, se ejecutó un proyecto para diseñar el proceso deconstructivo de una parte del puente y de manera gradual, basado en las condiciones actuales del puente. El componente investigativo del alcance de diseño estructural del proyecto, consistió en ejecutar pruebas de vibraciones en la extensión total del puente con más de 1.5 km para evaluar la condición actual del sistema atirantado, así como para complementar la información de pruebas destructivas que debían ser limitadas para no afectar el puente. Las 26 luces del tramo de tipología de placa y vigas del puente fueron medidas con arreglos consistentes de instrumentación para identificar frecuencias y modos de vibración, y los resultados fueron evaluados estadísticamente para obtener información con un grado de confiabilidad adecuado, y que permitiera complementar la información de

pruebas tradicionales (núcleos y regatas) en términos de la condición estructural. El proyecto fue contratado por PUERTA DE ORO y los trabajos fueron ejecutados entre septiembre y diciembre de 2021.

10. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL POR DETONACIÓN DE EXPLOSIVOS EN LA CERCANÍA DE UN SISTEMA DE IMPULSIÓN

Dedicación 0.5 H-mes: El sistema de impulsión y descarga de la Estación del Muña se encontraba en la cercanía de obras de infraestructura en desarrollo, para la cual se detonaron explosivos para construir la vía. Con el fin de establecer el nivel de afectación por las voladuras, se implementó un sistema de adquisición con capacidad de 150 mil muestras por segundo, y la conformación de dos estaciones acelerométricas triaxiales capturando registros de forma simultánea y sincronizada a diferentes distancias de la fuente. Con las mediciones se evaluó el modelo de campo lejano de las detonaciones, y se procesaron datos con códigos científicos escritos y desarrollados para establecer entre otros, funciones de impulso unitario y pre-filtrado blanco (pre-whitening filtering by LJung), con el fin de confirmar la visualización del frente de onda entre dos puntos comunes a una detonación, y con ello hacer la evaluación precisa del efecto del movimiento en condiciones de ruido natural que de otra forma habrían contaminado las mediciones. El trabajo fue contratado por ENEL y fue ejecutado en marzo de 2024.

11. DIAGNÓSTICO ESTRUCTURAL DE MUELLE MARÍTIMO AMPLIADO

Dedicación 1.0 H-mes: Se ejecutó un diagnóstico estructural para un muelle marítimo cuya capacidad de carga fue incrementado con la extensión de plataforma de operación y la inclusión de pórticos-grúa de 3000 toneladas de peso. El diagnóstico fue basado en medición de vibraciones en todo el sistema de operaciones, tanto en la plataforma existente como la nueva, así como en el equipo de descarga de los buques. Junto con las mediciones y procesamiento de datos dinámicos, se ejecutaron pruebas destructivas con extracción de muestras de material y se hizo una inspección desde tierra y desde el agua. El monitoreo dinámico permitió confirmar los modelos numéricos construidos para establecer la interacción entre dos sistemas de plataformas (antiguo y nuevo), y con ello investigar el comportamiento actual ante las condiciones de carga muy superiores a las originales del muelle. El trabajo se ejecutó entre octubre de 2020 y febrero de 2021, y fue contratado por SMITCO.



Carrera 6A No. 30A-30
BX: +57 1 9189007 - FAX: +57 1 288 4531
NIT. 860.001.986-1
certificadoslaborales@ingetec.com.co
BOGOTÁ D.C. – COLOMBIA

Cordialmente,

INGETEC S.A.S

06/05/2025 16:49:41

Maria Cecilia Herrera Aristizabal
1wys8-WVb_k

06/05/2025 14:58:41

Maria Cecilia Herrera Aristizabal
1wys8-WVb_k

MARIA CECILIA HERRERA ARISTIZABAL
Directora Administrativa y Financiera

Para confirmación telefónica, comunicarse al 9189007 ext 1007