

UNIVERSIDAD DE LA SABANA



Facultad de Ingeniería

Maestría en Gerencia de Ingeniería

Título

Análisis técnico y económico para la confiabilidad estructural de puentes vehiculares mediante monitoreo presencial versus monitoreo electrónico en tiempo real

Área de investigación

Chía, febrero de 2021

Presentación de trabajos de grado

Protocolos e informes finales

Análisis técnico y económico para la confiabilidad estructural de puentes vehiculares mediante monitoreo presencial versus monitoreo electrónico en tiempo real

Ana Carolina Macias Mora

Tutor

MAURICIO AGUDELO

**Facultad de Ingeniería
Maestría en Gerencia Ingeniería
Chía, febrero 2021**

RESUMEN

En el mundo las interconexiones viales son de suma importancia ya que de esto depende gran parte del desarrollo económico y social de los países, estas conexiones se relacionan directamente con una infraestructura o superestructura por lo cual la importancia de mantenerlas en buen estado, por esto, en el tráfico terrestre, la falla de un puente genera la interrupción total del tráfico de bienes en su superficie, generando incalculables pérdidas materiales y sociales mientras se restituye el flujo vehicular. (García, Ospina Giraldo, & Graciano, 2014)

Problema como el enunciado en el parrafo anterior se hace evidente en Colombia ya que el mantenimiento de puentes vehiculares no cuenta con una directriz confiable para lograr identificar el momento adecuado de ejecución en obras de mantenimiento y/o rehabilitación con el fin de evitar mayores deterioros o en su defecto colapsos de estas estructuras. Contamos aproximadamente con una cantidad de 3.440 puentes vehiculares en el país, razón importante para priorizar el estado tanto las superestructuras como infraestructuras.

Un monitoreo de estas infraestructuras es posible hacerlo mediante el uso de la tecnología. El analisis de estas estructuras, con el tiempo se ha convertido en un área de investigación importante y de rápido crecimiento que esta atrayendo el interés de los investigadores y de las agencias de gobierno relacionados con el mantenimiento y seguridad de los diferentes tipos de estructuras tales como edificios, puentes, etc, con el fin de permitir su operación o programar su recuperación o retiro.

Las estructuras civiles frecuentemente sufren daños a lo largo de su vida de servicio, estos daños se deben a diversos factores tales como: corrosión, degradación de las columnas, vigas y el impacto de objetos extraños. (Amezquita, 2012)

Con el presente trabajo se quiere mostrar a las empresas privadas y estatales, propietarias de los puentes vehiculares del país existentes y futuros por construir, que es posible optimizar costos con el conocimiento del estado de los puentes vehiculares y asi poder actuar en el momento adecuado, para luego lograr ejecutar el mantenimiento y/o rehabilitación ejecutando las obras requeridas en el momento apropiado.

Actualmente este monitoreo se realiza de manera presencial, con ayuda de Ingenieros civiles especialistas estructurales quienes tienen la autonomía para determinar en qué momento las estructuras requieren atención, ya sea para realizar ensayos o para ser intervenidas

ESTRATEGIA DE TRABAJO

Teniendo en cuenta que actualmente en Colombia no se cuenta con un método de prevención confiable para el buen funcionamiento de los Puentes Vehiculares se propone desarrollar una estrategia, empleando la metodología PESTEL, el modelo de las cinco fuerzas de Porter y la matriz DOFA a fin de lograr detectar la viabilidad que puede tener el Gobierno y algunas entidades Privadas para la implementación de esta tecnología teniendo en cuenta varios factores, para finalmente lograr entender la aptitud de esta solución tecnológica beneficiando económicamente a los propietarios de estas estructuras.

Importante resaltar que en otros países ya se tiene la conciencia de esta actividad, con lo cual a lo largo de la investigación realizada lo que se logró encontrar es que en Colombia actualmente ya se está trabajando en este tema, el trabajo que se realiza será un aporte teórico al convencimiento de la importancia que un sistema de monitoreo acarrea en la vida útil de una estructura, por este motivo a lo largo del trabajo lo que se va a ejecutar es un sustento para lograr persuadir a los dueños de las estructuras del país de la importancia que tiene esta instrumentación.

ABSTRACT

In the world, road interconnections are of great importance since a large part of the economic and social development of countries depends on them. These connections are directly related to an infrastructure or superstructure, which is why the importance of maintaining them in good condition, and therefore, in land traffic, the failure of a bridge generates the total interruption of the traffic of goods on its surface, generating incalculable material and social losses while the flow of vehicles is restored. (García, Ospina Giraldo, & Graciano, 2014)

A problem such as the one mentioned in the previous paragraph is evident in Colombia, since the maintenance of vehicular bridges does not have a reliable guideline to identify the appropriate moment to carry out maintenance and/or rehabilitation works in order to avoid further deterioration or collapse of these structures. There are approximately 3,440 vehicular bridges in the country, which is an important reason for prioritizing the state of both superstructures and infrastructure.

Monitoring of this infrastructure is possible through the use of technology. The analysis of these structures, over time has become an important and rapidly growing area of research that is attracting the interest of researchers and government agencies related to the maintenance and safety of different types of structures such as buildings, bridges, etc., in order to allow their operation or schedule their recovery or removal.

Civilian structures frequently suffer damage during their service life, this damage is due to several factors such as: corrosion, degradation of columns, beams and the impact of foreign objects. (Amezquita, 2012)

With this work we want to show private and state-owned companies, owners of existing and future vehicular bridges in the country, that it is possible to optimize costs with the knowledge of the state of the vehicular bridges and thus be able to act at the right time, and then be able to execute the maintenance and/or rehabilitation works required at the appropriate time,

Currently, this monitoring is carried out in person, with the help of civil engineers who are structural specialists and who have the autonomy to determine when the structures require attention, either for testing or for intervention

WORKING STRATEGY

Taking into account that currently in Colombia there is no reliable prevention method for the proper functioning of the Vehicle Bridges, we propose to develop a strategy, using the PESTEL methodology, the five forces model of Porter and the DOFA matrix, to detect the viability that the Government and some Private entities may have for the implementation of this technology, taking into account several factors, to finally understand the suitability of this technological solution, benefiting economically the owners of these structures.

It is important to note that in other countries there is already awareness of this activity, so throughout the research carried out what was found is that in Colombia we are already working on this issue, the work being done will be a theoretical contribution to the conviction of the importance of a monitoring system in the life of a structure, so throughout the work what is going to be executed is a sustenance to persuade the owners of the country's structures of the importance of this implementation.

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	PROBLEMA	16
3.	ANTECEDENTES	17
3.1.	Construcción de Puentes.....	17
4.	UBICACIÓN DEL PROBLEMA	20
5.	PLANTEAMIENTO – PREGUNTA.....	20
6.	JUSTIFICACIÓN.....	21
7.	OBJETIVOS	22
7.1.	General.....	22
7.2.	Específicos	22
8.	MARCO TEÓRICO.....	23
8.1.	Marco Conceptual	23
8.1.1.	Causas de colapsos de Puentes	23
8.1.2.	Evaluación del impacto económico y social	25
8.1.3.	Economía de Colombia con destino a la Infraestructura	28
8.2.	Evaluación del Caso de Estudio en Colombia.....	35
8.2.1.	Puente Pescadero.....	35
8.2.2.	Estudio Puente Agua Blanca en Otanche – Boyacá.....	61
9.	EXISTENCIA DE METODOS PARA MITIGAR DAÑOS DE PUENTES VEHICULARES NACIONALES E INTERNACIONALES.	92
9.1.	Monitoreo de puentes vehiculares SAP-IDU (Doctor José Enrique García) (Nacional)	92
9.2.	Puente Pumarejo.....	101
9.3.	Puente Honda.....	111
9.3.1.	Instrumentación	112
9.3.2.	Presupuesto de Obra.....	113
9.3.3.	Presupuesto Instrumentación	113
9.3.4.	Módulo del Sistema de Administración de Puentes	114
9.4.	Monitoreo y evaluación estructural de puentes utilizando un sistema de instrumentación inalámbrico – PITRA – Costa Rica	117
10.	FLUJO PRESENCIAL Y FLUJO CON MONITOREO	130
10.1.	Flujo Presencial	130
10.2.	Flujo con monitoreo	133

10.3.	Monitoreo de Puentes	136
10.4.	Confiabilidad estructural INVIAS y la Pontificia Universidad Javeriana	138
11.	METODOLOGÍA.....	139
11.1.	Análisis Cualitativo	139
11.1.1.	Metodología PESTEL.....	139
11.1.2.	Fuerzas competitivas de Porter.....	143
11.1.3.	Matriz DOFA	144
11.2.	Análisis Cuantitativo.....	146
11.2.1.	Método utilizado	146
11.2.2.	Técnico	146
11.2.3.	Económica	146
11.2.4.	Matriz de Priorización	149
12.	ANÁLISIS	153
12.1.	Encuesta	153
12.2.	Entrevista al director técnico del INVIAS.....	162
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	167
13.1.	Conclusiones.....	167
13.2.	Recomendaciones	170
14.	REFERENCIAS	172

TABLAS

TABLA 1: INVESTIGACIÓN SOBRE CAUSAS DE LAS FALLAS DE PUENTES EN COLOMBIA CON BASE EN EL INVENTARIO DE COLAPSOS DESDE 1987 HASTA 2006 SUMINISTRADO POR EL INVIAS. (INVIAS, 2012)(NOTA: EN ESTA TABLA SE PRESENTA EL NÚMERO DE CASOS DE FALLA Y NO EL NÚMERO DE PUENTES FALLADOS).....	24
TABLA 2: PRECIO DEL COSTO DE LA PROPUESTA DE REPARACIÓN DEL PUENTE PESCADERO PRESENTADA EN 1995 POR LA FIRMA SAC ESTRUCTURAS METÁLICAS Y SU CORRESPONDIENTE VALOR A PRECIOS DE 2011. (SAC ESTRUCTURAS METÁLICAS, 1995). (CUSBA MORALES, 2011).....	44
TABLA 3: TABLA DE COSTOS ASOCIADOS A LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE PESCADERO EN 1983 Y SU CORRESPONDIENTE VALOR A PRECIO DE 2020. FUENTE: (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, 1983). (CUSBA MORALES, 2011).....	49
TABLA 4: COSTOS DIRECTOS ASOCIADOS CON LA INSTALACIÓN DEL PUENTE PROVISIONAL QUE PERMITÍA CRUZAR EL RÍO CHICAMOCHA DEBIDO AL COLAPSO DEL PUENTE PESCADERO Y SU CORRESPONDIENTE VALOR A PRECIO DE 2020. (MINISTERIO DE TRANSPORTE, CONTRATOS, 2011). (CUSBA MORALES, 2011).....	49
TABLA 5: COSTOS DIRECTOS ASOCIADOS A LA CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO PUENTE PESCADERO EN 1996 Y SU CORRESPONDIENTE VALOR A PRECIO DE 2020.....	50
TABLA 6: COSTOS TOTALES DIRECTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE PESCADERO EN 1983 Y 1996 Y SUS CORRESPONDIENTES VALORES A PRECIOS DE 2020. (SAC ESTRUCTURAS METÁLICAS, 1995), (MINISTERIO DE TRANSPORTE, CONTRATOS, 2011). (CUSBA MORALES, 2011).....	54
TABLA 7: VARIABLES INVOLUCRADAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE TRANSPORTE QUE IMPLICÓ LA CAÍDA DEL PUENTE PESCADERO EN 1996 Y SU CORRESPONDIENTE VALOR A PRECIO DE 2020. (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2007). (CUSBA MORALES, 2011).....	58
TABLA 8: COMPARACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DIARIAS EN EL TRANSPORTE A PRECIOS DE 1996 VS. A PRECIOS DE 2011 Y SU CORRESPONDIENTE VALOR A PRECIO DE 2020. (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2007). (CUSBA MORALES, 2011).....	58
TABLA 9: COMPARACIÓN DE LAS PÉRDIDAS TOTALES EN EL TRANSPORTE DURANTE LOS 10 DÍAS QUE DURÓ LA INSTALACIÓN DEL PUENTE PROVISIONAL A PRECIOS DE 1996 VS. PRECIOS DE 2011 Y SU CORRESPONDIENTE VALOR A PRECIO DE 2020. (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2007). (CUSBA MORALES, 2011).....	59
TABLA 10: ACTA DE ENTREGA Y RECIBO DEFINITIVO, PUENTE AGUA BLANCA.....	65
TABLA 11: PRESUPUESTO PARA SALVAR LA ESTRUCTURA.....	84
TABLA 12: ANÁLISIS ECONÓMICO. PUENTE QUEBRADA BLANCA.....	88
TABLA 13: TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO OTANCHE – CURUBITOS (INVIAS, 2012).....	90
TABLA 14: TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO EN OTANCHE EN LOS ÚLTIMOS AÑOS.....	90
TABLA 15: VALORES TENIENDO EN CUENTA EL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO.....	90
TABLA 16: PRESUPUESTO DE OBRA.....	113
TABLA 17: PRESUPUESTO INSTRUMENTACIÓN.....	114
TABLA 18: ESCALA DE CALIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LOS PUENTES (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS Y DIRECTORADO DE CARRETERAS DE DINAMARCA, 1996) (PARRA & SEDANO, 2011).....	116
TABLA 21: COMPARACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES PLATAFORMAS TECNOLÓGICAS PARA EL MONITOREO Y EVALUACIÓN DE PUENTES. (PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE (PITRA), 2013)	127
TABLA 19: LISTA DE ALGUNOS DE LOS PUENTES EN EL MUNDO QUE FUERON EVALUADOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL. (MUÑOZ DÍAZ, CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL, 2012)	137
TABLA 20: LISTA DE ALGUNOS PUENTES NACIONALES QUE HAN TENIDO ESTUDIOS DE CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL. (MUÑOZ DÍAZ, CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL, 2012).....	138
TABLA 22: MATRIZ DE PRIORIZACIÓN.....	152
TABLA 23: CONSOLIDACIÓN DE CRITERIOS MATRIZ DE PRIORIZACIÓN.....	152
TABLA 24: RESULTADO MATRIZ DE PRIORIZACIÓN.....	152

ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: ETAPAS DE UN PROYECTO EN COLOMBIA. (VICEPRESIDENCIA TÉCNICA DE COLOMBIA, 2016).....	30
ILUSTRACIÓN 2: MATRIZ DE CONSULTORÍA SEGÚN TIPO Y FASE DE PROYECTO EN ETAPA DE PRE INVERSIÓN. (VICEPRESIDENCIA TÉCNICA DE COLOMBIA, 2016).....	33
ILUSTRACIÓN 3: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PUENTE PESCADERO - DEPARTAMENTO DE SANTANDER. FUENTE: (INSTITUTO GEOGRÁFICO "AGUSTÍN CODAZZI", 1982). (CUSBA MORALES, 2011).....	35
ILUSTRACIÓN 4: VISTA FRONTAL DE LA INSPECCIÓN AL PUENTE PESCADERO LOCALIZADO SOBRE EL RÍO CHICAMOCHA EN JUNIO DE 1995. FUENTE: (SAC ESTRUCTURAS METÁLICAS, 1995). (CUSBA MORALES, 2011).....	37
ILUSTRACIÓN 5: VISTA LATERAL DE LA INSPECCIÓN AL PUENTE PESCADERO LOCALIZADO SOBRE EL RÍO CHICAMOCHA EN JUNIO DE 1995. FUENTE: (SAC ESTRUCTURAS METÁLICAS, 1995). (CUSBA MORALES, 2011).....	38
ILUSTRACIÓN 6: VIGA DE RIGIDEZ OXIDADA DURANTE LA INSPECCIÓN AL PUENTE PESCADERO EN JUNIO DE 1995. FUENTE: (SAC ESTRUCTURAS METÁLICAS, 1995). (CUSBA MORALES, 2011).....	38
ILUSTRACIÓN 7: CUBRE JUNTAS OXIDADO DURANTE LA INSPECCIÓN AL PUENTE PESCADERO EN JUNIO DE 1995. FUENTE: (SAC ESTRUCTURAS METÁLICAS, 1995). (CUSBA MORALES, 2011).....	39
ILUSTRACIÓN 8: RIOSTRAS SE ENCONTRABAN SUeltas DE LAS VIGAS LONGITUDINALES DURANTE LA INSPECCIÓN AL PUENTE PESCADERO EN JUNIO DE 1995. FUENTE: (SAC ESTRUCTURAS METÁLICAS, 1995). (CUSBA MORALES, 2011).....	39
ILUSTRACIÓN 9: BARANDA CAÍDA A CAUSA DEL DESBANCAMIENTO DE LA PLACA DURANTE LA INSPECCIÓN AL PUENTE PESCADERO EN JUNIO DE 1995. FUENTE: (SAC ESTRUCTURAS METÁLICAS, 1995). (CUSBA MORALES, 2011).....	40
ILUSTRACIÓN 10: ESTADO DE LA JUNTAS DE DILATACIÓN DURANTE LA INSPECCIÓN AL PUENTE PESCADERO EN JUNIO DE 1995. FUENTE: (SAC ESTRUCTURAS METÁLICAS, 1995). (CUSBA MORALES, 2011)...	41
ILUSTRACIÓN 11: ESTADO DEL PUENTE PESCADERO DURANTE LA VISITA LLEVADA A CABO EL 12 DE JULIO DE 2011. (CUSBA MORALES, 2011).....	47
ILUSTRACIÓN 12: ESTADO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA DEL PUENTE PESCADERO. (CUSBA MORALES, 2011).....	47
ILUSTRACIÓN 13: ESTRIBO DEL PUENTE PESCADERO LOCALIZADO A LA MARGEN DERECHA DEL RÍO CHICAMOCHA. (CUSBA MORALES, 2011).....	48
ILUSTRACIÓN 14: PUENTE PESCADERO COLAPSADO EL 7 DE ENERO DE 1996. FUENTE: (NOTIVÍAS, PUENTE PESCADERO COLAPSADO, 1996).....	50
ILUSTRACIÓN 15: PUENTE PESCADERO COLAPSADO EL 7 DE ENERO DE 1996. (NOTIVÍAS, PUENTE PESCADERO COLAPSADO, 1996).....	50
ILUSTRACIÓN 16: INSTALACIÓN DE PUENTE PROVISIONAL METÁLICO SOBRE EL RÍO CHICAMOCHA A CARGO DE LA OFICINA DE EMERGENCIAS DEL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. FUENTE: (NOTIVÍAS, OBRAS DE CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE PROVISIONAL DE PESCADERO, A CARGO DE LA OFICINA DE EMERGENCIAS DE I.N.V, 1996) (CUSBA MORALES, 2011).....	51
ILUSTRACIÓN 17: TRÁNSITO DE VEHÍCULOS SOBRE PUENTE PROVISIONAL METÁLICO CON CAPACIDAD MENOR A LAS 12 TONELADAS. FUENTE: (EL TIEMPO, 1996). (CUSBA MORALES, 2011).....	51
ILUSTRACIÓN 18: EL 12 DE ENERO DE 1996 COMIENZA LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE PROVISIONAL METÁLICO LOCALIZADO JUNTO AL DERRUMBADO PUENTE PESCADERO. FUENTE: (NOTIVÍAS, 1996). (CUSBA MORALES, 2011).....	52
ILUSTRACIÓN 19: EL 30 DE ENERO DE 1996 SE ADELANTABAN LABORES DE CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE PROVISIONAL COLGANTE METÁLICO. FUENTE: (NOTIVÍAS, 1996). (CUSBA MORALES, 2011).....	52
ILUSTRACIÓN 20: EL 15 DE FEBRERO DE 1996 SE LLEVÓ A CABO LA PRUEBA DE CARGA UNA VEZ CONCLUIDA LA TERMINACIÓN DEL PUENTE PROVISIONAL. FUENTE: (NOTIVÍAS, 1996). (CUSBA MORALES, 2011).....	53
ILUSTRACIÓN 21: EL 16 DE FEBRERO DE 1996 EL PUENTE PROVISIONAL YA ESTABA A DISPOSICIÓN DEL TRÁNSITO VEHICULAR. FUENTE: (NOTIVÍAS, 1996). (CUSBA MORALES, 2011).....	53

ILUSTRACIÓN 22: PUENTE PESCADERO LUEGO DE SU COLAPSO OCURRIDO EL 7 DE ENERO DE 1996. FUENTE: (TIEMPO, 1996). (CUSBA MORALES, 2011)	57
ILUSTRACIÓN 23. PUENTE AGUA BLANCA ENTREGADO	63
ILUSTRACIÓN 24: GRIETAS POR INCLUSIÓN DE ARCO EN ESTRIBO	66
ILUSTRACIÓN 25: TOPOGRAFÍA PRIMERA VISITA	67
ILUSTRACIÓN 26: GRIETAS SEGUNDA VISITA	67
ILUSTRACIÓN 27: INCLUSIÓN DEL ARCO EN EL ESTRIBO, COSTADO AGUAS ABAJO Y PARTE INTERNA DEL ESTRIBO AFECTADO	68
ILUSTRACIÓN 28: MOVIMIENTO DEL TERRENO POR DESLIZAMIENTO EN BANCA	68
ILUSTRACIÓN 29: MOVIMIENTO NOTORIO EN LA POSICIÓN DEL DADO PROVISIONAL PARA EL LANZAMIENTO	69
ILUSTRACIÓN 30: FISURA BAJO EL PUENTE	69
ILUSTRACIÓN 31: COORDENADAS PARA LA TERCERA VISITA	70
ILUSTRACIÓN 32: ROMPIMIENTO DE PERNOS EN EL APOYO MÓVIL Y AUMENTO DE LA FISURA	70
ILUSTRACIÓN 33: TOPOGRAFÍA PARA CUARTA VISITA	71
ILUSTRACIÓN 34: QUINTA VISITA ARCO DESPLAZADO AGUAS ABAJO E INCLUIDO EN EL ESTRIBO	71
ILUSTRACIÓN 35: APOYO FIJO COSTADO PUERTO BOYACÁ	72
ILUSTRACIÓN 36: ACCESO COSTADO OTANCHE	72
ILUSTRACIÓN 37: NOTORIA COMPRESIÓN DEL TERRENO AL PUENTE Y AUMENTO DE LA FISURA	73
ILUSTRACIÓN 38: VIGAS RASGADAS	73
ILUSTRACIÓN 39: INICIO DE LIBERACIÓN DEL PUENTE	74
ILUSTRACIÓN 40: TERRENO SOBRE EL PUENTE	74
ILUSTRACIÓN 41: COSTADO PUERTO BOYACÁ	75
ILUSTRACIÓN 42: LIBERACIÓN DEL PUENTE	76
ILUSTRACIÓN 43: FUNCIONAMIENTO DE LA CIMENTACIÓN	76
ILUSTRACIÓN 44: PANDEO EN RIGIDIZADORES	76
ILUSTRACIÓN 45: APOYO PATÍN	77
ILUSTRACIÓN 46: INSPECCIÓN ESTRUCTURA METÁLICA	77
ILUSTRACIÓN 47: SUFRIMIENTO EN VIGAS TRANSVERSALES	78
ILUSTRACIÓN 48: COMPARACIONES DEL ACCESO AL PUENTE	78
ILUSTRACIÓN 49: IMAGEN TOMADA CON DRON EN LA ENTREGA DEL PUENTE Y DESPUÉS DE LA AFECTACIÓN	79
ILUSTRACIÓN 50: BATEA ANTES Y DESPUÉS	79
ILUSTRACIÓN 51: COSTADO PUERTO BOYACÁ, APOYO FIJO	79
ILUSTRACIÓN 52: COSTADO PUERTO BOYACÁ - AGUAS ARRIBA, SE PUEDE HACER LA PROYECCIÓN DEL ÚNICO ESTRIBO QUE QUEDO EN SU LUGAR Y SE VE TODO LO QUE SE DESPLAZÓ EL PUENTE	80
ILUSTRACIÓN 53: APOYO MÓVIL COSTADO OTANCHE, CONSIDERADO EL LADO CRÍTICO	80
ILUSTRACIÓN 54: RESUMEN TOPOGRAFÍA	81
ILUSTRACIÓN 55: RESUMEN TOPOGRAFÍA	81
ILUSTRACIÓN 56: PRECIPITACIÓN	82
ILUSTRACIÓN 57: SOLUCIÓN INMEDIATA	83
ILUSTRACIÓN 58: SUSTENTAR PUENTE	83
ILUSTRACIÓN 59: CAJA DE EQUIPO DE MONITOREO Y PANEL SOLAR. (IDU, 2004)	96
ILUSTRACIÓN 60: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DE MONITOREO. (IDU, 2004)	97
ILUSTRACIÓN 61: SISTEMA DE MONITOREO DE PUENTES BMS 3.7.3 (IDU, 2004)	98
ILUSTRACIÓN 62: COMPUTADOR CENTRAL Y EQUIPO MASTER QUE CONTROLA LAS TRANSMISIONES DE LOS EQUIPOS. (IDU, 2004)	98
ILUSTRACIÓN 63: VISTA DE LA BASE DE DATOS DEL SISTEMA DE MONITOREO DE PUENTES. (IDU, 2004) ..	99
ILUSTRACIÓN 64: PUENTE PUMAREJO (REVISTA SEMANA, 2019)	101
ILUSTRACIÓN 65: PUENTE HONDA EN CONSTRUCCIÓN ACTUALMENTE. (SAFE INSTRUMENTACIÓN S.A.S, 2018)	111

ILUSTRACIÓN 66: CONCEPTO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL INTELIGENTE. (PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE (PITRA), 2013).....	118
ILUSTRACIÓN 67: CONCEPTO DEL SISTEMA DE MONITOREO ESTRUCTURAL. (PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE (PITRA), 2013).....	119
ILUSTRACIÓN 68: A) EL PUENTE TSING MA, B) STONECUTTERS Y C) BILL EMERSON. (PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE (PITRA), 2013).....	120
ILUSTRACIÓN 69; ESQUEMA ILUSTRATIVO DE LAS ESTRATEGIAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN MSE. (PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE (PITRA), 2013)	124
ILUSTRACIÓN 70: ETAPAS DE LA INSPECCIÓN PRINCIPAL (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS Y DIRECTORADO DE CARRETERAS DE DINAMARCA, 1996) (PARRA & SEDANO, 2011).....	129
ILUSTRACIÓN 71: IMÁGENES TOMADAS DE (DEPOSIT PHOTOS, 2018)	130
ILUSTRACIÓN 72: IMÁGENES TOMADAS DE (DEPOSIT PHOTOS, 2018)	134
ILUSTRACIÓN 73: CINCO FUERZAS COMPETITIVAS DE PORTER PARA EL MONITOREO ELECTRÓNICO EN TIEMPO REAL.....	143

GRÁFICAS

GRÁFICA 1: VARIACIÓN DE LA FALLA DE PUENTES DESDE EL AÑO DE 1993 EN COLOMBIA. (MUÑOZ E. E., 2009).....	23
GRÁFICA 2: ESTADÍSTICA DE LAS CAUSAS PRINCIPALES DE COLAPSO DE PUENTES EN COLOMBIA BASADA EN EL INVENTARIO DE COLAPSOS DESDE 1987 HASTA 2006, SUMINISTRADA POR EL INVIAS. (INVIAS, 2012).....	24
GRÁFICA 3: COLAPSO DE PUENTES EN COLOMBIA EN 2012 (72 PUENTES) Y 2019 (90 PUENTES) – ADAPTADO DE (MUÑOZ DIAZ, INGENIERIA DE PUENTES. COLAPSO, INSPECCIÓN ESPECIAL, SOCAVACIÓN, VULNERABILIDAD SISMICA Y CAPACIDAD DE CARGA., 2012).....	25
GRÁFICA 4: ESTADÍSTICA DE LAS SOLUCIONES TÉCNICAS QUE SE EMPLEARON ANTE EL COLAPSO DE PUENTES EN COLOMBIA SIN INCLUIR PUENTES DERRUMBADOS POR ATENTADOS. (CUSBA MORALES, 2011).....	28
GRÁFICA 5: PRECISIÓN INFORMACIÓN V/S COSTO DE PRE INVERSIÓN. (VICEPRESIDENCIA TÉCNICA DE COLOMBIA, 2016).....	34
GRÁFICA 6: COMPARACIÓN DE LOS COSTOS DIRECTOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE PESCADERO A PRECIOS DE 1996 Y A PRECIOS DE 2011 FRENTE A LA PROPUESTA DE REPARACIÓN DE LA EMPRESA SAC PRESENTADA EN 1995. (MINISTERIO DE TRANSPORTE, CONTRATOS, 2011), (SAC ESTRUCTURAS METÁLICAS, 1995). (CUSBA MORALES, 2011)	54
GRÁFICA 7: GASTOS TOTAL PUENTE PESCADERO	55
GRÁFICA 8: COMPARACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DIARIAS DE TRANSPORTE PARA LA FECHA DEL DESASTRE VS. COSTOS A PRECIOS DE 2011. (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2007). (CUSBA MORALES, 2011) ACTUALIZADO A 2020.	59
GRÁFICA 9: PERDIDAS TPD PARA LOS 10 DÍAS.....	60
GRÁFICA 10: COMPARACIÓN DE LOS COSTOS TOTALES DE TRANSPORTE PARA LA FECHA DEL DESASTRE VS. COSTOS A PRECIOS DE 2011 Y PROYECTADO AL AÑO 2020. (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, 2007). (CUSBA MORALES, 2011).....	60
GRÁFICA 11: COMPORTAMIENTO DE LOS PRECIOS DE TRANSPORTE EN COLOMBIA Y BUCARAMANGA. (DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA DANE, 1995-1997). (CUSBA MORALES, 2011).....	61
GRÁFICA 12: COSTOS POR ETAPAS. PUENTE AGUA BLANCA	89
GRÁFICA 13: PERDIDAS POR TPD DATOS TOMADOS DE INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS)	91
GRÁFICA 14: GASTOS UTILIZABLES VS GASTOS PERDIDOS.	91
GRÁFICA 15: COMPARACIÓN VALOR TOTAL VS INSTRUMENTACIÓN.	114
GRÁFICA 16: MÓDULOS DEL SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES (SIPUCOL) (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS Y DIRECTORADO DE CARRETERAS DE DINAMARCA, 1996) (PARRA & SEDANO, 2011).....	115

GRÁFICA 17: MATRIZ DOFA	145
GRÁFICA 18: INVERSIÓN TOTAL DE LA ECONOMÍA (2005-2019). (CAMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA, 2019)	147
GRÁFICA 19: INVERSIÓN A LA INFRAESTRUCTURA PRIVADA Y PÚBLICA. (CAMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA, 2019)	148
GRÁFICA 20: CRECIMIENTO ECONÓMICO E INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE. (CAMARA COLOMBIANA DE LA INFRAESTRUCTURA, 2019)	149

1. INTRODUCCIÓN

Los puentes son los principales elementos de obras en infraestructura de un País, específicamente en Colombia y, por lo tanto, los objetivos de la Ingeniería se refieren al aseguramiento de la conservación y buen funcionamiento. Esta importante labor tuvo su comienzo tangible con un Sistema Integral de Administración de Puentes, que involucró actividades de inventario, inspección (diagnóstico), capacidad de carga, mantenimiento y rehabilitación. Para lograr estos objetivos, el INVIAS implementó en 1996 el Sistema de Administración de Puentes de Colombia (SIPUCOL), con el objeto de mejorar y complementar la gestión técnica y administrativa de los puentes del País. Básicamente se realiza una inspección visual para la evaluación de cada uno de los componentes del puente, donde se identifica el estado de la estructura, los tipos de daños y las reparaciones necesarias, otorgando así una calificación basada en una escala cualitativa previamente definida (Instituto Nacional de Vías, 1996) citado por (Muñoz & Gómez, 2013).

Los puentes antiguos, sufren diferentes grados de deterioro con el tiempo, por lo cual deben ser administrados mediante su inspección, seguimiento y conservación. Por esta necesidad se han desarrollado en el mundo diferentes sistemas de gestión o administración de los puentes, los cuales se han implementado para cada país según sus condiciones económicas y políticas. (Muñoz E. E., 2012)

“El interés en las técnicas para monitorear una estructura y descubrir un daño en su etapa más temprana, se ha incrementado dentro de las comunidades de ingenieros civiles, mecánicos y aeroespaciales. Los métodos actuales de identificación de daño son visuales o de localización experimental, como los métodos acústicos o ultrasónicos, métodos de campo magnético, radiográficos o los métodos de campo térmico. Todas estas técnicas experimentales requieren que la vecindad del daño sea conocida a priori y que la porción de la estructura a inspeccionar sea accesible. Sujetos a estas limitaciones, estos métodos experimentales pueden detectar el daño en la superficie de la estructura o cerca de ella.

La necesidad de desarrollar técnicas de detección de daños globales que puedan aplicarse a estructuras complejas, ha llevado al desarrollo de métodos que examinan cambios en las características de vibración de la estructura. La idea básica es que los parámetros dinámicos (frecuencias, modos de vibración y de amortiguamiento) cambian en función de las propiedades físicas de la estructura (masa, amortiguamiento y rigidez). Por consiguiente, los cambios en las propiedades físicas causarán cambios en las propiedades dinámicas, abriendo un camino para la localización y caracterización de los daños.” (Universidad del Valle, 2000)

Con el incremento de nuevas infraestructuras civiles en todo el mundo y la creación de nuevos equipos de censo, el desarrollo de un sistema de identificación de daños que pueda extraer información cuantitativa y pueda proveer el desempeño de la estructura se ha convertido en un tema prioritario de investigación. Monitoreo de la integridad estructural (Structural Health Monitoring) es un tema relevante para la Ingeniería Civil, Ingeniería Aeroespacial, Ingeniería Mecánica, entre otras, ya que permite seguir el comportamiento de un determinado sistema estructural detallado. El monitoreo de la integridad estructural consiste en la implementación de un sistema para identificar daños, el cual envuelve monitoreo, procesamiento de datos, y su interpretación para evaluar la condición de una estructura, con el fin de detectar daños en su estado inicial y tomar la decisión del correspondiente mantenimiento, para prevenir la caída o colapso de la estructura, evitando pérdidas humanas y económicas. (Amezquita, 2012)

El propósito de este trabajo es lograr sustentar cuál de los dos métodos existentes para el monitoreo de puentes como lo son el monitoreo presencial y el monitoreo electrónico en tiempo real es el más adecuado para lograr optimizar los recursos, teniendo en cuenta que los puentes pueden llegar a presentar tres tipos de escenarios a lo largo de su vida útil:

1. Antes del momento adecuado para el mantenimiento y/o rehabilitación: en este caso se estarían adelantando las obras requeridas con lo cual se puede afectar la estabilidad del puente, se perdería tiempo en la vida útil de los

puentes. Los costos en este caso pueden ser similares a realizar la ejecución en el momento adecuado, lo cual se puede ver representado en pérdida de dinero a futuro.

2. Después del momento adecuado para el mantenimiento y/o rehabilitación: evidentemente en este escenario se puede encontrar el cierre parcial del puente, afectando el flujo de tráfico, o en el peor de los casos el colapso de la infraestructura. Los costos en este escenario son muy altos.
3. En el momento adecuado para el mantenimiento y/o rehabilitación: en este instante se encuentra el deterioro del puente en el tiempo adecuado para intervenir, en este punto la vida útil del puente se encuentra en su umbral, con el mantenimiento y/o rehabilitación, se extenderá este periodo de vida útil logrando optimizar los costos.

2. PROBLEMA

Siendo Colombia un territorio altamente vulnerable en cuanto a su geografía, se evidencia que en la actualidad cuenta con aproximadamente 3.440 puentes construidos, los cuales están siendo inspeccionados de manera superficial ya que es de saber que los puentes no solamente pueden tener daños a simple vista, por esto la importancia de lograr encontrar una solución a la identificación de los daños en todos los puentes sin necesidad de depender de los conocimientos de un profesional cuyo concepto puede catalogarse de forma subjetivo, llegando a que su interpretación de los daños no sea preciso y lograr llegar a un grado de incertidumbre muy alto con respecto al funcionamiento actual de estas estructuras.

Teniendo en cuenta que Colombia no cuenta con una confiabilidad estructural, inicialmente lo que se buscó para este trabajo de grado fue la implementación de una instrumentación para probar su importancia, realizando la investigación, encontró que el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) implemento en el año 2002 esta tecnología en varios puentes de Bogotá, pero sin encontrar la información con facilidad, se logró hallar que esta implementación ya no está en funcionamiento, ¿Cuál es el motivo por el cual esta implementación ya no está en marcha? Con el

análisis que se realizará en este trabajo, se podrá identificar por qué esta instrumentación no tuvo el funcionamiento que se le proyectaba.

En el Puente Pumarejo se efectuó la instrumentación a fin de poder monitorear su ejecución y así poder aprovechar esta instrumentación a futuro para lograr mantener el Puente Pumarejo en constante monitoreo.

Es importante resaltar que en la actualidad se está estudiando este importante tema bajo un programa que está realizando en INVIAS de la mano de la Universidad de Los Andes y La Pontificia Universidad Javeriana bajo el nombre de *]]* del cual no se tiene información ya que cuenta con restricción al acceso de información debido a su confidencialidad.

3. ANTECEDENTES

3.1. Construcción de Puentes

Colombia se caracteriza por su diversa Geografía, razón por la cual construir infraestructuras requiere de cuidado y buenos ensayos de laboratorio con el fin de garantizar la estabilidad en las obras.

Los puentes existentes son vulnerables a presentar condiciones de deterioro que afectan su operación, razón por la cual es importante indagar y profundizar sobre su estado y las metodologías para su evaluación estructural. Para ello es necesario documentarse y tener conocimiento sobre la historia, los tipos de puentes, materiales, cimentación, apoyos, juntas, clases de componentes, proceso constructivo y demás aspectos que son esenciales para las labores de inspección visual, diagnóstico, auscultación profunda, capacidad de carga, análisis de confiabilidad y riesgo, modelos de deterioro, mantenimiento, rehabilitación, entre otras. (Muñoz Diaz, 2012)

“Regresando a la historia del país, algunos lugares puntuales han logrado sentir el beneficio de superar obstáculos como lo son ríos, quebradas y fallas geológicas, por medio de pasos elevados y/o puentes, pero esto también conlleva a la preocupación de sufrir el deterioro de estos elementos con el tiempo, logrando

identificar diferentes tipos de colapsos en estas estructuras. Las consecuencias que traen estos colapsos son pérdidas económicas y pérdida de vidas humanas en algunos casos, con lo cual se ha venido investigando e implementando medidas para así lograr mitigar estas catástrofes.

De acuerdo con él (Ministerio de Transporte & Pontificia Universidad Javeriana, 2012), los puentes hacen parte principal de las obras de la infraestructura vial del País y deben ser administrados asegurando su conservación y funcionamiento, lo cual se realiza a través de actividades de inventario, inspección (diagnóstico), capacidad de carga, mantenimiento y rehabilitación. En este sentido ha venido trabajando el Estado desde 1983, cuando elaboró el primer proyecto relacionado con la gestión y administración de los puentes denominado "Revisión periódica de puentes". Posteriormente entre 1989 y 1991 el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT) y la Universidad del Cauca mediante el Programa ICFES - BID realizaron a través de un convenio institucional un trabajo de "Investigación Nacional de Puentes", que consistió en el inventario e inspección de daños en los puentes ubicados en cada uno de los diferentes Distritos de Obras Públicas. Posteriormente en 1996, mediante un convenio internacional de asistencia técnica entre el Instituto Nacional de Vías y la Dirección de Carreteras del Ministerio de Transportes de Dinamarca, se implementó el Sistema de Administración de Puentes de Colombia (SIPUCOL), que consta de diferentes módulos de gestión de los puentes y una base de datos especializada. A través de este sistema el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) ha fortalecido la gestión en el tema de puentes el cual está conformado por diversos módulos como inventario, inspección principal, inspección especial, mantenimiento rutinario, capacidad de carga, etc. Este Sistema de Gestión se define como una aproximación racional y sistemática, para organizar y llevar a cabo todas las actividades relacionadas con el manejo y la administración de los puentes. Tiene los siguientes alcances:

- Predicción de las necesidades de mantenimiento y de los fondos requeridos.
- Elaboración de listados de puentes por prioridades de mantenimiento y rehabilitación. Identificación de puentes con restricciones o limitaciones de servicio.

- Búsqueda de la mejor alternativa para rehabilitación de cada puente desde el punto de vista técnico y de beneficio-costos.
- Cuantificación de los costos de inversión por puente.
- Identificación de las obras de mantenimiento menor.
- Determinación de la capacidad de carga de los puentes y sus restricciones.”
(Ministerio de Transporte & Pontificia Universidad Javeriana, 2012)

La ejecución actual de los mejoramientos y/o rehabilitaciones de puentes en Colombia tienen unos lineamientos los cuales son:

- Asignación de un Administrador vial por cada Departamento del País. Este administrador vial necesariamente es un profesional Ingeniero Civil o de vías y transporte.
- La función de este Administrador es evaluar mediante sus conocimientos la necesidad de mejoramiento y/o rehabilitación que tiene cada estructura dentro de la vía a su cargo. Es importante resaltar que esta inspección es visual y puede llegar a ser subjetiva.
- En caso de encontrar requerimientos relevantes dentro de estas vías, es responsabilidad de cada Administrador vial, informar a su respectiva Regional INVIAS de los daños que ha detectados.
- Depende de los daños encontrados, se debe revisar si la obra cuenta con póliza de estabilidad, si cuenta con esta el contratista encargado de realizar la obra debe garantizar la estabilidad, si no cuenta con póliza de estabilidad, el director territorial del Invias debe remitirse a la central del INVIAS (Bogotá) donde se solicita la apertura de un proceso licitatorio el cual abarque lo requerido por el administrador vial.
- Se realizan ensayos de laboratorio dependiendo el tipo de puente y así poder realizar el presupuesto de lo que se requiere para hacer la rehabilitación o mejoramiento.
- Luego se procede a la apertura de una licitación.

Estos pasos que se siguen en la actualidad, aparentemente son subjetivos, y dependen del criterio de una persona que en todos los casos como se mencionó anteriormente, debe ser Ingeniero Civil o de vías y transporte, pero muchos de estos

profesionales no son especialistas en puentes vehiculares, por lo cual no tienen los conceptos claros referentes a los daños en estas estructuras. Es por este motivo que el monitoreo de puentes mediante un sistema de adquisición de datos se hace necesario para así poder tener un sustento real de la necesidad que tiene cada estructura, luego lograr su mantenimiento y/o rehabilitación o reemplazo.

Sin embargo, son diversos los casos de colapsos y fallas de puentes vehiculares en Colombia; este problema debe ser objeto de reflexión y análisis por parte de la Ingeniería Nacional para determinar sus causas y posibles soluciones. Los efectos negativos desde el punto de vista económico, social y político que produce la caída de un puente son enormes y deben preocupar tanto a las entidades públicas y privadas responsables de la administración como a los ingenieros que los diseñan y construyen. (Muñoz E. E., 2009)

No obstante, el Estado ha trabajado en producir bienestar social y desarrollo económico en la nación, especialmente cuando implementó el Sistema de Puentes de Colombia (SIPUCOL) en 1996, herramienta que ha fortalecido la gestión relacionada con el seguimiento y conservación de los puentes de la red vial nacional. Dicho sistema se apoyó en las experiencias de DAMBRO (Sistema de Administración de Puentes de Dinamarca) y SIPUMEX (Sistema de Administración de Puentes de México). (Muñoz Díaz, 2012) , aunque en la actualidad este sistema no se encuentra actualizado, el grupo de innovación del Instituto Nacional de Vías - Invias en conjunto con la Universidad de los Andes y la Pontificia Universidad Javeriana están desarrollando una investigación aplicada para lograr la salud estructural de los puentes en Colombia.

4. UBICACIÓN DEL PROBLEMA

Cada puente vehicular construido, los futuros en ejecución y los Proyectos a construir en el territorio colombiano.

5. PLANTEAMIENTO – PREGUNTA

Con este proyecto se busca responder la siguiente pregunta:

¿Cuál es la directriz que se debe seguir con el fin de identificar el momento conveniente para la intervención a un reemplazo, mejoramiento y/o rehabilitación de un Puente Vehicular en Colombia?

6. JUSTIFICACIÓN

La Red Vial Nacional consta aproximadamente de 3.440 puentes, dato soportado por el SIPUCOL (Sistema de Administración de Puentes de Colombia), actualizado a marzo de 2017. (SIPUCOL, 2017)

Los puentes son elementos primordiales para lograr el desarrollo de un país, son los encargados de mantener en contacto gran parte de territorio nacional, teniendo en cuenta la geografía con la que cuenta Colombia se hace necesario un detenido estudio para lograr la construcción de cada uno de estos elementos. Es de nuestro conocimiento que Colombia tienen una geografía diversa por lo cual está expuesta a sismos, avalanchas, deslizamientos de tierra, inundaciones y en épocas anteriores expuesta al terrorismo, por cuya razón es indispensable mantener un constante monitoreo a estas estructuras.

Se hace imprescindible el mantenimiento rutinario con el fin de disminuir riesgos, pero es evidente que ante un desastre natural estos elementos son afectados, en muchas ocasiones sus daños pueden tener reparación, pero en otros casos no es posible, teniendo en cuenta que ante un daño grave se pierden vidas humanas y además se deja incomunicadas las zonas afectadas, lo cual conlleva a pérdidas de vidas y pérdidas económicas.

Este problema existe en todo el mundo, según (Kuan, 2013) en los países desarrollados como por ejemplo Estados Unidos, la preocupación por el estado de la infraestructura, especialmente en los puentes, emergió a la superficie desde los años noventa. Según el informe presentado en 1997 por la Administración Federal de Carreteras del dicho país (The Federal Highway Administration, FHWA), dentro de su inventario existen unos 470.000 puentes, pero 110.000 de ellos fueron clasificados como estructuralmente deficientes. Así que desde ese mismo tiempo

se ha creado múltiples programas para el desarrollo de métodos de Evaluaciones No-Destructivas (NonDestructive Testing, NDT), ya que hay urgencias por:

- Establecer metodologías rápidas para diagnosticar el estado real de los puentes.
- Ubicar zonas dañadas y cuantificar el daño, por ejemplo, el de las grietas o fisuras de fatiga sea en acero o en concreto.
- Evaluar el estado de las losas de concreto aun siendo estas cubiertas por el asfalto.
- Evaluar el estado de las pilas de fundación de una gran cantidad de puentes que no se tenía ninguna información respecto al diseño o construcción.

La innovación en nuestro país ha tenido una buena inmersión, pero es evidente que Estados Unidos y en este caso particular México, se han involucrado más en estos temas de monitoreo por lo cual están más avanzados y de alguna forma ya los instrumentos y los métodos utilizados están creados es sencillamente mostrar la importancia y eficiencia para así poder soportar su implementación.

7. OBJETIVOS

7.1. General

Identificar el método de inspección más favorable tanto económico como técnicamente viable para la detección de fallas en los puentes vehiculares de Colombia, mitigando colapsos que conllevan a la desconexión entre dos puntos generando pérdidas económicas, políticas y sociales.

7.2. Específicos

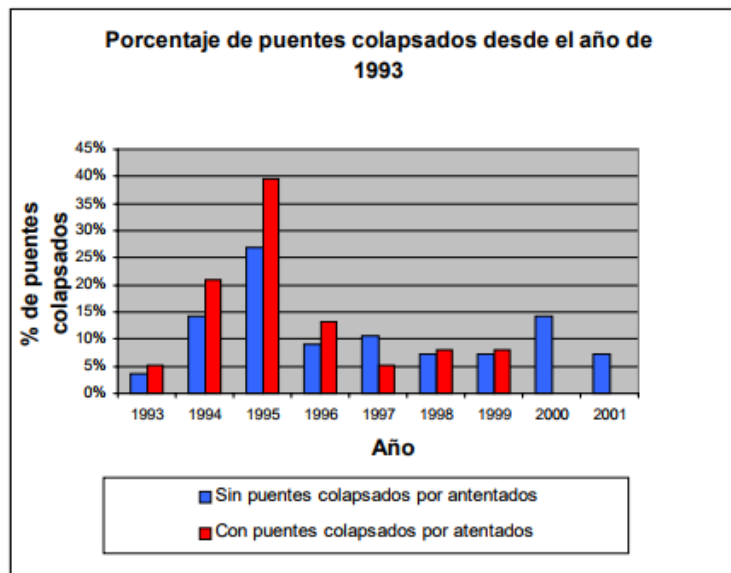
- Determinar las causas de colapsos en puentes vehiculares con el fin de priorizarlos según su afectación económica.
- Esclarecer los métodos de mitigación existentes en Colombia para la detección de fallas en puentes vehiculares.
- Encontrar la mejor solución técnica y económica para lograr detectar a tiempo daños en puentes vehiculares de Colombia.

- Análisis de las entidades estatales y privadas, compartir este análisis con las Entidades Estatales y Privadas encargadas de interconectar el país, y así entender la importancia de realizar el monitoreo a los puentes en tiempo real.

8. MARCO TEÓRICO

8.1. Marco Conceptual

Soportando la experiencia adquirida en la construcción de puentes vehiculares, se tiene conciencia de la importancia que adquieren estas estructuras para el crecimiento de un país, en el momento que falla alguna de estas estructuras se ha evidenciado el gran atraso que conlleva, desde la pérdida de agricultura, hasta la pérdida de horas de educación debido a la imposibilidad de hacer presencia en los colegios y universidades por parte de los estudiantes, el atraso generado es evidente, por lo cual es necesario lograr mitigar estas falencias lo más pronto posible, es de recordar en épocas anteriores la situación que se vivió en el país con respecto a los atentados, donde evidentemente también sufrieron los puentes, a continuación se muestra la gráfica de los puentes que colapsaron con atentados y comparando sin atentados:



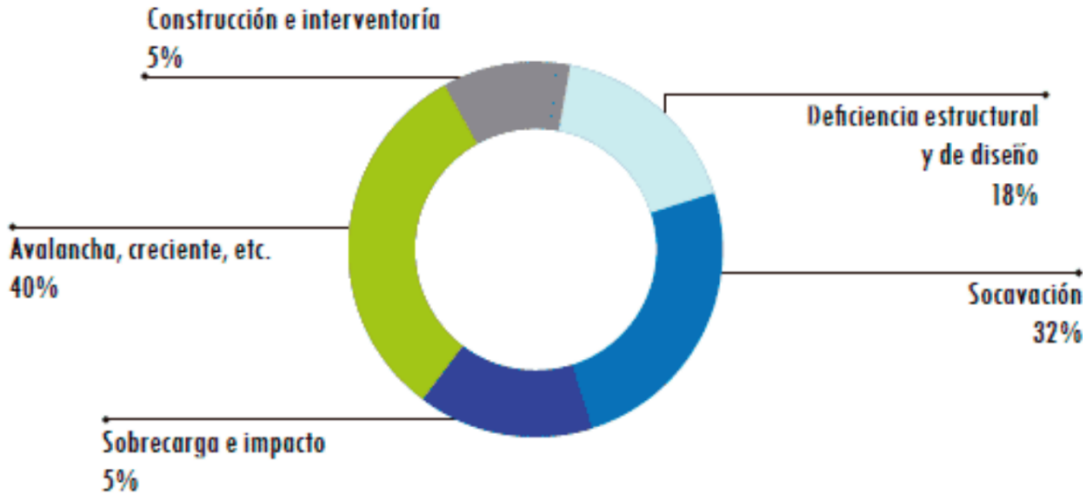
Gráfica 1: Variación de la falla de puentes desde el año de 1993 en Colombia. (Muñoz E. E., 2009)

8.1.1. Causas de colapsos de Puentes

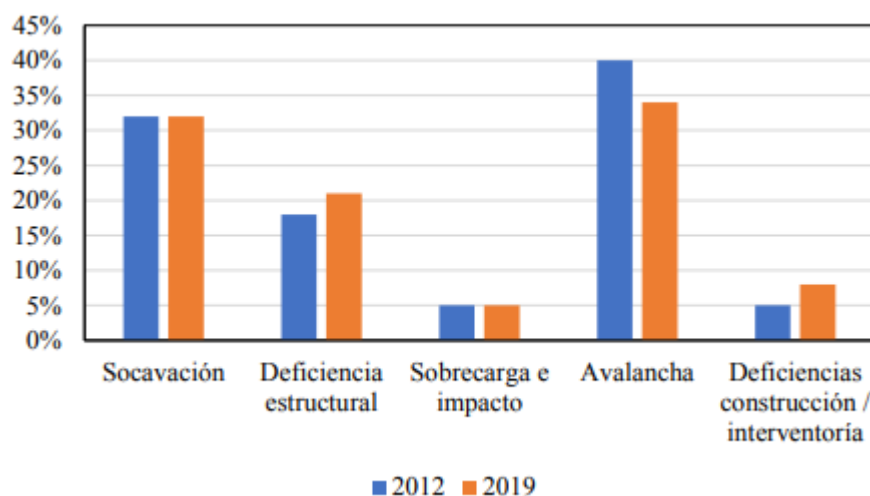
En Colombia también se han presentado colapso o derrumbamiento de puentes, con algunas causas similares a las encontradas en los puentes a nivel internacional. Pero, en particular, han colapsado o sufrido derrumbamientos parciales o totales. A continuación, se presenta una Gráfica de las causas de fallas de puentes en Colombia: (Muñoz Diaz, 2012)

Causas	Número de casos	%
Deficiencia estructural y de diseño	13	18%
Socavación	23	32%
Sobrecarga e impacto	4	5%
Avalancha, creciente, etc	29	40%
Deficiencia en construcción e interventoría	4	5%

Tabla 1: Investigación sobre causas de las fallas de puentes en Colombia con base en el inventario de colapsos desde 1987 hasta 2006 suministrado por el INVIAS. (INVIAS, 2012)(Nota: en esta tabla se presenta el número de casos de falla y no el número de puentes fallados).



Gráfica 2: Estadística de las causas principales de colapso de puentes en Colombia basada en el inventario de colapsos desde 1987 hasta 2006, suministrada por el INVIAS. (INVIAS, 2012)



Gráfica 3: Colapso de puentes en Colombia en 2012 (72 puentes) y 2019 (90 puentes) – Adaptado de (Muñoz Díaz, Ingeniería de Puentes. Colapso, inspección especial, socavación, vulnerabilidad sísmica y capacidad de carga., 2012)

Todas estas causas de colapsos de puentes son explicadas por el Ingeniero Edgar Muñoz en: **(Muñoz Díaz, Ingeniería de Puentes. Colapso, inspección especial, socavación, vulnerabilidad sísmica y capacidad de carga., 2012)**

8.1.2. Evaluación del impacto económico y social

“De acuerdo a la clasificación de la CEPAL¹ los desastres se categorizan en dos grupos, por un lado, los desastres de origen natural y los desastres antrópicos u ocasionados por la acción humana. Los desastres naturales que se presentan con más frecuencia en la región latinoamericana y el Caribe son los que tiene que ver con tormentas y huracanes, inundaciones, sequías, heladas, granizadas, terremotos, erupciones volcánicas, maremotos, deslizamientos de masas, etc. Y los que tiene que ver con desastres antrópicos sobresalen los incendios, explosiones y derrames de petróleo.

Los colapsos de puentes con fuerte impacto socio-económico han llegado a adquirir dimensiones de desastre y este ha sido el caso en muchos eventos de colapsos de puentes en Colombia. Por esta razón se consideró útil tomar la metodología desarrollada por la CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe

¹ CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Manual para la Evaluación del Impacto Socioeconómico y Ambiental de los Desastres. México.

para evaluar el impacto de desastres y recogida en un manual para analizar consecuencias de desastres tanto de origen natural como de origen antrópico que ocasionan efectos negativos sobre la infraestructura tanto económica como social, y del medio ambiente de un país.

Este Manual fue promovido con respaldo financiero y de cooperación técnica por gobiernos tales como los de Italia, Países Bajos, la Organización Panamericana de Salud (OPS) y de la Secretaría Técnica de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Ministerio de Relaciones Exteriores Del Gobierno del Reino de Noruega y la Secretaria para el Desarrollo Internacional del Gobierno del Reino Unido por medio de su Departamento de Conflictos y Asuntos Humanitarios.

La metodología a emplear en la evaluación del análisis socioeconómico comienza con una recopilación de la información cuantitativa y una investigación de antecedentes que permita determinar cómo eran las condiciones antes del desastre, de igual forma el alcance y la magnitud de los daños y los efectos macroeconómicos. Se deberá también consultar fuentes gubernamentales, organizaciones gremiales o profesionales, cámaras de comercio e industria, asociaciones de productores agrícolas, y expertos de organismos internacionales o de misiones bilaterales que se encuentre en el sitio del evento a analizar. Para comprobar la confiabilidad de la información conseguida se deben hacer confirmaciones en el terreno, que sean muestrales con el objetivo de determinar el número de unidades afectadas, junto con la magnitud o extensión de los daños.

Por medio del manual de la CEPAL permite clasificar los daños y efectos que se producen en un desastre, basándose en primer lugar, la metodología empleada que accede ver el impacto socioeconómico y ambiental en el momento en el que se produjo el evento, al igual que sus consecuencias; y en un segundo lugar, es que ésta se adecue a los distintos sectores o regiones en donde se va a llevar a cabo la evaluación.

Por lo tanto, los efectos que se producen de un desastre se clasifican en: a) daños directos que se ocasionan; b) daños indirectos que se producen sobre la producción de bienes o servicios; c) y los efectos macroeconómicos.

De acuerdo a la CEPAL el ciclo pos desastre se divide en tres fases: a) emergencia, b) rehabilitación y recuperación, c) reconstrucción.

En cuanto a la fase de emergencia esta comienza inmediatamente sucede el desastre y hace mención a las acciones para salvar vidas; incluye actividades como la de búsqueda, rescate, primeros auxilios, socorro, al igual que protección médica de emergencia; restitución transitoria de vías de transporte y comunicación.

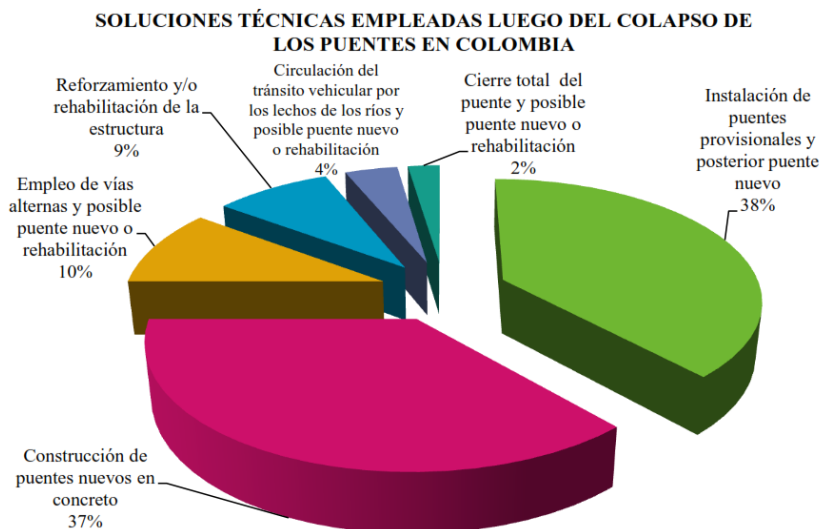
En lo que respecta a la fase de rehabilitación son las actividades que tiene que ver con restablecerle la normalidad a las zonas o comunidades afectadas, involucra restablecimiento temporal de transporte y telecomunicaciones. Dentro de las medidas de recuperación se destaca el regreso al trabajo, la creación de nuevos empleos.

Y como última fase se encuentra la de reconstrucción, que involucra las actividades que organizan el espacio físico y el medio ambiente, restablecen de nuevo las actividades económicas y sociales. Lo que pretende esta fase es aumentar la capacidad local y la resistencia de las infraestructuras físicas, económicas y sociales ante la posibilidad de nuevos desastres, partiendo de decisiones en cuanto al grado de protección que se desea.

Las actividades de evaluación del manual de la CEPAL se centran preferentemente una vez las actividades de la fase de emergencia se han completado o están por finalizar, y su objetivo es el de identificar las necesidades y prioridades de la fase de reconstrucción.” (Cusba Morales, 2011)

Sintetizando lo anterior mencionado, según (Cusba Morales, 2011), en la Gráfica 4 se presentan algunas de las soluciones que se llevaron a cabo luego que se presentara el colapso de puentes vehiculares en Colombia en el período

comprendido entre 1986 y 2011, para tal efecto las soluciones que se emplearon después de ocurrida el derrumbamiento de estas estructuras son:



Gráfica 4: Estadística de las soluciones técnicas que se emplearon ante el colapso de puentes en Colombia sin incluir puentes derrumbados por atentados. (Cusba Morales, 2011).

Luego de analizar esta gráfica es evidente que las soluciones conllevan a una asignación de presupuesto considerable, razón por lo cual se fortalece la teoría de encontrar una solución para poder ahorrar presupuesto a los entes encargados de estas estructuras.

8.1.3. Economía de Colombia con destino a la Infraestructura

Para lograr implementar nuevos procesos para determinar la salud estructural en los puentes de Colombia, se requiere disponibilidad presupuestal para lograr mantener en servicio esta herramienta, por lo cual nos remitimos a la propuesta número 200 del presidente Iván Duque donde estipula lo siguiente;

“Desarrollo de nuevas fuentes de financiación para los proyectos de infraestructura

- a. Pondremos en marcha el sistema de cobro de valorización por la ejecución de obras de infraestructura.
- b. Permitiremos la titularización de bienes baldíos de predios grandes, a cambio exigiremos el pago de un impuesto para el desarrollo de la infraestructura regional, de esta forma podremos desarrollar zonas atrasadas.

c. Destinaremos el capital necesario para la Financiera de Desarrollo Nacional de manera que le permita operar adecuadamente, optimizando los recursos necesarios para la construcción de infraestructura de transporte nacional.

d. Atraeremos inversión extranjera para el sector. Para ello procuraremos la implementación de una normatividad sencilla y clara con vocación de permanencia.” (Duque, 2018).

Teniendo en cuenta estas propuestas y en especial la propuesta (c), encuentra cabida para la implementación de este proyecto.

Realizando el estudio para la viabilidad económica es importante resaltar el papel que cumple el ministerio de transporte en Colombia:

8.1.3.1. Ministerio de Transporte

“De acuerdo la Constitución Política Nacional, la Ley 489 de 1998, la Ley 790 de 2002 y demás normas vigentes, los Ministerios son, junto con la Presidencia de la República y los Departamentos Administrativos, los organismos principales de la Administración Pública Nacional y hacen parte del Sector Central de la Rama Ejecutiva del Poder Público.

Los Ministerios tienen como objetivos primordiales la formulación y adopción de las políticas, planes generales, programas y proyectos del Sector Administrativo que dirigen.

Así las cosas, el Ministerio de Transporte, como lo establece el Decreto 087 de 2011, es el organismo del Gobierno Nacional encargado de formular y adoptar las políticas, planes, programas, proyectos y regulación económica del transporte, el tránsito y la infraestructura, en los modos carretero, marítimo, fluvial, férreo y aéreo del país.

El Ministerio de Transporte es la cabeza del Sector Transporte, el cual está constituido por el Ministerio, El Instituto Nacional de Vías (INVIAS), la Agencia Nacional de Infraestructuras (ANI), la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (AEROCIVIL), la Superintendencia de Puertos y Transporte (SUPERTRANSPORTE) y la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV).

8.1.3.1.1. Misión

Somos una Entidad de la orden Nacional encargada de garantizar el desarrollo y mejoramiento del transporte, tránsito y su infraestructura, de manera integral, competitiva y segura, buscando incrementar la competitividad del país, con tecnología y recurso humano comprometido y motivado.

8.1.3.1.2. Visión

En el año 2025, el Ministerio de Transporte habrá hecho un aporte fundamental a la competitividad del país, dando un gran salto en la calidad del transporte y su infraestructura.” (Ministerio de Transporte, 2018)

8.1.3.1.3. Etapas de un proyecto en Colombia

Según la vicepresidencia técnica de Colombia, se tiene un procedimiento para la ejecución de proyectos, el cual es importante tener en cuenta:

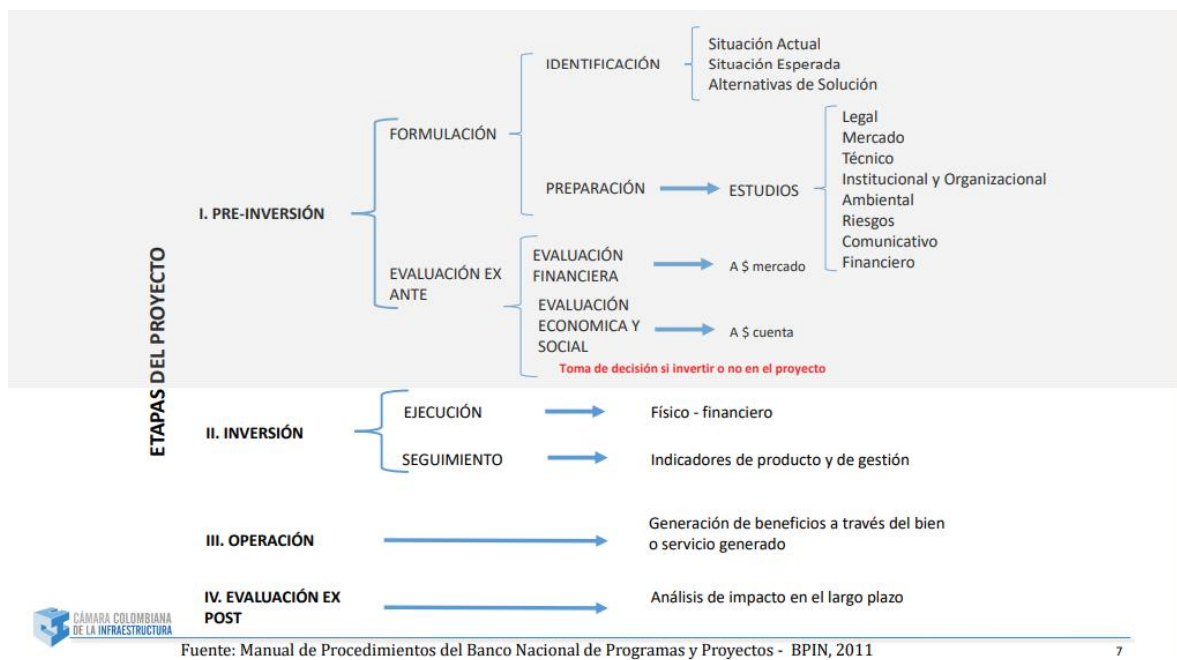


Ilustración 1: Etapas de un proyecto en Colombia. (Vicepresidencia Técnica de Colombia, 2016)

8.1.3.1.4. Ciclo de vida de los proyectos según (Vicepresidencia Técnica de Colombia, 2016)

- **Evaluación EX ANTE**

“La evaluación ex ante del proyecto consiste en un ejercicio de análisis de la pertinencia, eficacia, eficiencia e impacto del proyecto a la luz de las alternativas de

solución identificadas. Para lo anterior, se parte de la información recopilada en la preparación de cada una de las alternativas de solución. La evaluación consiste en la comparación de las diferentes alternativas de solución mediante los indicadores apropiados, con el propósito de seleccionar la mejor, de acuerdo con el criterio seleccionado.

Existen tres tipos de evaluación:

- **Evaluación financiera**

Es del interés del inversionista privado, del gobierno y de las instituciones financieras. La valoración de beneficios, ingresos y costos del proyecto se hace a precio de mercado, es decir, con todas sus distorsiones. Incluye los costos y beneficios directos atribuibles a la alternativa. Para el análisis se utiliza la tasa de interés de oportunidad del mercado.

- **Evaluación económica**

Estudia y mide el aporte neto de un programa o proyecto al bienestar nacional, teniendo en cuenta el objetivo de eficiencia.

- **Evaluación social**

Además de los análisis de eficiencia de los impactos de una política, un programa o un proyecto en la evaluación social, se deben incorporar los efectos sobre la distribución del ingreso y la riqueza.

8.1.3.1.5. Fases de Ingeniería de un proyecto en etapa de pre inversión

De acuerdo con la Ley 1682 de 2013 – Ley de Infraestructura y el Manual de Consultoría del INVIAS 2014, en la etapa de pre inversión, se deben desarrollar las siguientes fases de maduración de los diversos estudios de ingeniería que se adelanten para la ejecución de los proyectos según (Vicepresidencia Técnica de Colombia, 2016):

- **Fase 1. Pre factibilidad – Ingeniería conceptual**

Es la fase en la cual se debe realizar el pre diseño aproximado del proyecto, presentando alternativas y realizar la evaluación económica preliminar recurriendo a costos obtenidos en proyectos con condiciones similares, utilizando modelos de

simulación debidamente aprobados por las entidades solicitantes. El objetivo de la fase 1 es surtir el proceso para establecer la alternativa de trazado que a este nivel satisface en mayor medida los requisitos técnicos y financieros.

- **Fase 2. Factibilidad – Ingeniería básica**

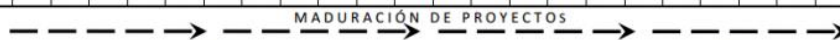
Es la fase en la cual se debe diseñar el proyecto y efectuar la evaluación económica final, mediante la simulación con el modelo aprobado por las entidades contratantes. Tiene por finalidad establecer si el proyecto es factible para su ejecución, considerando todos los aspectos relacionados con el mismo. En esta fase se identifican las redes, infraestructuras y activos existentes, las comunidades étnicas y el patrimonio urbano, arquitectónico, cultural y arqueológico que puedan impactar el proyecto, así como títulos mineros en procesos de adjudicación, otorgados, existentes y en explotación. Desarrollados los estudios de factibilidad del proyecto, podrá la entidad pública o el responsable del diseño si ya fue adjudicado el proyecto, continuar con la elaboración de los diseños definitivos.

- **Fase 3. Estudios y diseños definitivos – Ingeniería de detalle**

Es la fase en la cual se deben elaborar los diseños detallados tanto geométricos como de todas las estructuras y obras que se requieran, de tal forma que un constructor pueda materializar el proyecto. El objetivo de esta fase es diseñar todos sus componentes de tal manera que se pueda dar inicio a su construcción.

- **Matriz de Consultoría según Tipo y Fase de Proyecto en Etapa de Pre inversión**

FASE	IDENTIFICACIÓN DE NECESIDAD						INGENIERÍA CONCEPTUAL O FASE 1 - PREFACTIBILIDAD						INGENIERÍA BÁSICA O FASE 2 - FACTIBILIDAD						INGENIERÍA DE DETALLE O FASE 3 - ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS						
	N	1	2	3	I	G	N	1	2	3	I	G	N	1	2	3	I	G	N	1	2	3	I	G	
TIPO DE PROYECTO	NUEVO	X						X			X				X		X						X	X	X
	MANTENIMIENTO																						X	X	X
	REHABILITACIÓN																						X	X	X
	MEJORAMIENTO							X							X		X						X	X	X
	ATENCIÓN DE EMERGENCIAS																								



Notas: 1. Para cada Tipo de Proyecto se marcan las posibles modalidades de Consultoría que se requieren, las cuales son opcionales según las características del proyecto.
 2. No necesariamente todos los proyectos requieren de todas las modalidades de Consultoría marcadas.
 3. Los proyectos de Atención de Emergencias no requieren de Consultoría por la urgencia manifiesta implícita.

Convenciones Modalidad de Consultoría: N = Identificación de necesidad
 1 = Ingeniería Conceptual o Fase 1 - Prefactibilidad
 2 = Ingeniería Básica o Fase 2 - Factibilidad
 3 = Ingeniería de Detalle o Fase 3 - Estudios y Diseños Definitivos
 I = Interventoría de Estudios y Diseños
 G = Gerencia de proyectos



Fuente: Manual de Consultoría INVIAS - 2014

1

*Ilustración 2: Matriz de Consultoría según Tipo y Fase de Proyecto en Etapa de Pre inversión.
 (Vicepresidencia Técnica de Colombia, 2016)*

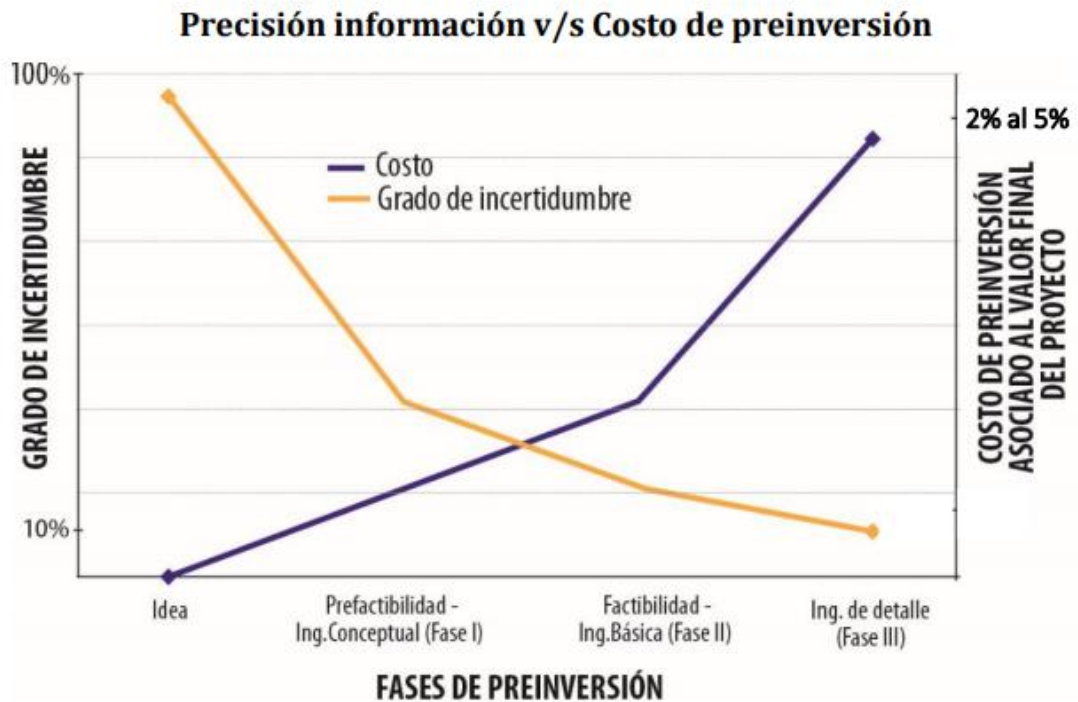
- **Costo de la Pre inversión.**

Ahora bien: ¿En cuánto está tasado el costo asociado a la etapa de pre inversión?

De acuerdo con el BID: El diseño, la implementación y la ejecución de un proyecto lleva varios años, de manera general. Los acuerdos de financiación necesitan estar asegurados cuando se inicia la planificación de proyectos, y los recursos se tienen que comprometer con antelación (comenzando con estudios previos de inversión, los cuales representan al menos 2–5% del total de los costos del proyecto). En algunos casos, esto tiene lugar años antes de los desembolsos iniciales. Además, una vez que el proyecto empieza, no siempre es factible interrumpir el financiamiento sin previo aviso. Por lo tanto, en algunos casos es más fácil recortar el gasto en proyectos que están en una fase temprana de preparación y que por tanto no hayan comenzado a ejecutarse.

- **Certidumbre y Costos de Pre inversión**

- El objetivo principal de la fase de pre inversión, es aumentar la certidumbre, consiguiendo la información suficiente y necesaria para tomar la mejor decisión desde el punto de vista técnico - económico.
- En la medida que se requiera mayor precisión, tanto en calidad como en cantidad, el costo de este proceso va en aumento.



Gráfica 5: Precisión Información v/s Costo de Pre inversión. (Vicepresidencia Técnica de Colombia, 2016)

- **La Pre inversión asegura**
 - Que el proyecto es una buena solución para el problema planteado.
 - Que la alternativa seleccionada es más conveniente que las desechadas y que no hay a disposición otra alternativa mejor.
 - Que el proyecto demuestra estándares técnicos e indicadores de rentabilidad eficientes respecto a proyectos similares.
 - Permite la generación de proyectos bien formulados y en cantidad suficiente, lo cual se convierte en un requisito fundamental para el mantenimiento de un flujo de inversión significativo y de impacto.
 - Una buena organización en el proceso de pre inversión, permite obtener proyectos técnicamente consolidados y bien evaluados, por ende, el logro del financiamiento de los mismos independiente de las dificultades financieras o económicas que el país pueda estar afrontando.
 - Además, constituye un elemento eficaz para determinar el tipo de medidas preventivas para contrarrestar posibles retrasos en la ejecución de los proyectos, y para un adecuado control de aquellos factores que puedan

preverse y así evitar que incidan negativamente en el desarrollo de los mismos.

- Una cuidadosa planificación es el medio a través del cual la sociedad reduce los costos de transacción asociados al desarrollo de nueva infraestructura. Si el gobierno no reduce al mínimo estos costos, debido a una fase de pre inversión defectuosa, entonces no se estarían aprovechando al máximo los beneficios netos que el proyecto puede dejarle a la sociedad". (Vicepresidencia Técnica de Colombia, 2016)

8.2. Evaluación del Caso de Estudio en Colombia

8.2.1. Puente Pescadero

El puente seleccionado para ser objeto del estudio socioeconómico por (Cusba Morales, 2011) es el llamado Puente Pescadero colapsado el 7 de enero de 1996, localizado en el sector de Oiba - Piedecuesta en la carretera Bogotá - Bucaramanga, ubicado entre las ciudades de San Gil y Bucaramanga, sobre el Río Chicamocha en el Departamento de Santander Ilustración 3 dicho puente es de vital importancia ya que permite comunicar el centro y sur del país con la Costa Norte, al igual que con la frontera de Venezuela; la importancia de la caída de este puente fue importante para la época, puesto que llevó a que se declarara la emergencia vial en el país. Resaltando que todo el estudio que se presenta a continuación con referencia de este puente Pescadero fue tomado de (Cusba Morales, 2011)



Ilustración 3: Ubicación geográfica del Puente Pescadero - Departamento de Santander. Fuente: (Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", 1982). (Cusba Morales, 2011)

8.2.1.1. Antecedentes del puente previo al colapso

El 30 de diciembre de 1983 el Fondo Vial Nacional suscribió el Contrato No. 653 con la empresa SAC Estructuras Metálicas para que llevara a cabo la construcción del Puente Pescadero localizado en el sector de Oiba - Piedecuesta en la carretera Bogotá - Bucaramanga en el Departamento de Santander, de acuerdo con los planos y especificaciones proporcionados por el Fondo Vial Nacional; el cual se dio al servicio de tráfico automotor el 18 de diciembre de 1985.

Luego de que este puente se diera al servicio vehicular y de acuerdo con información proporcionada por el Instituto Nacional de Vías, en el mes de diciembre de 1994 se presentaron anomalías en cuanto a daños presentados en los soportes de cuatro vigas longitudinales que originaron el cabeceo de éstas y provocaron el hundimiento de la losa; y como consecuencia del rompimiento de la soldadura utilizada en las vigas longitudinales, las riostras inferiores del puente se descolgaban. Con ocasión a estos problemas que se estaban presentando, se llevaron a cabo las obras requeridas para dar solución a este inconveniente y cuya finalización se dio a comienzos de 1995.

En junio de 1995 se llevó a cabo la inspección al Puente Pescadero de acuerdo a las políticas de la empresa SAC Estructuras Metálicas de hacerle seguimiento a las estructuras que esta firma ha construido e instalado, y de esta forma permitir el desarrollo del país y asegurar la calidad a los proyectos que han efectuado, tal y como se muestra a continuación.

8.2.1.2. Ubicación:

El Puente Pescadero se encuentra en la vía de Bogotá a Bucaramanga, localizado entre las ciudades de San Gil y Bucaramanga, sobre el Río Chicamocha (Ver Ilustración 4).

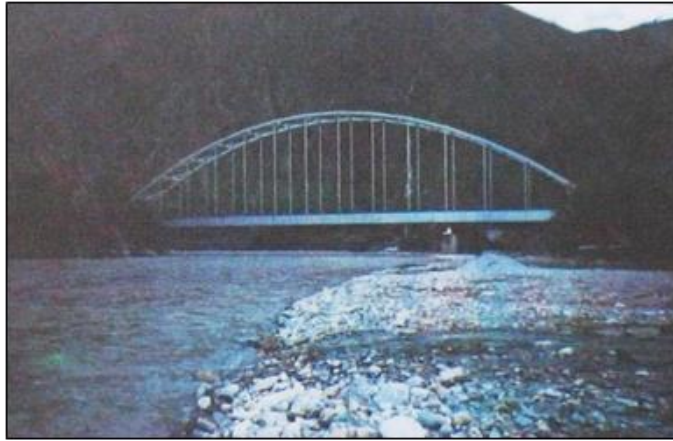


Ilustración 4: Vista frontal de la Inspección al Puente Pescadero localizado sobre el Río Chicamocha en junio de 1995. Fuente: (SAC Estructuras Metálicas, 1995). (Cusba Morales, 2011)

8.2.1.3. Características del puente:

La estructura es de arco atirantado, con una calzada de dos carriles, construido por la empresa SAC Estructuras Metálicas en 1984, bajo las siguientes especificaciones:

- Ancho 7.30 metros, con dos bordillos de 0.35 metros
- Ancho total del tablero 8.0 metros
- Materiales: láminas ASTM A-36 y ASTM A-572 grado 50, perfiles y ángulos PDR con $F_y=36$ Ksi y tornillería A-325
- Sobrecarga de diseño Camión 3-S-2
- Luz entre apoyos 120.0 metros
- Longitud total 120.6 metros
- Distancia transversal entre ejes de arcos o vigas de rigidez 8.55 metros
- Flecha de arco 24.0 metros
- Gálibo tráfico 6.0 metros

8.2.1.4. Inspección de la Superestructura

En el año de 1995 específicamente los días 9, 10 y 11 de junio se llevó a cabo una inspección al Puente Pescadero (Ver Ilustración 5) sugerida por la empresa SAC Estructuras Metálicas y autorizada por la Subdirección de Conservación del Instituto

Nacional de Vías en coordinación con el director regional del Distrito de Obras No. 15.



Ilustración 5: Vista lateral de la Inspección al Puente Pescadero localizado sobre el Río Chicamocha en junio de 1995. Fuente: (SAC Estructuras Metálicas, 1995). (Cusba Morales, 2011)

De acuerdo a la inspección efectuada al Puente Pescadero se hicieron las siguientes observaciones:

- Tablero: de acuerdo a la inspección se hicieron las siguientes observaciones:
- Viga de rigidez: el estado general es bueno. Se debe efectuar mantenimiento (limpieza, pintura de base y acabado) ya que se presenta acumulación de arena a lo largo del patín inferior y rigidizadores. Esto lo que ocasiona es que se acumule humedad traduciéndose en corrosión (Ver Ilustración 6).



Ilustración 6: Viga de rigidez oxidada durante la inspección al Puente Pescadero en junio de 1995. Fuente: (SAC Estructuras Metálicas, 1995). (Cusba Morales, 2011)

- Vigas transversales: el estado general es bueno. Se presenta corrosión a causa al deterioro de la pintura.
- Vigas longitudinales: el estado en general es regular (Ver Ilustración 7) ya que las vigas ubicadas entre el espacio de los pendolones P3 y P4 en la dirección

Bogotá- Bucaramanga, los ángulos de conexión muestran fisuras en los vértices. Al mismo tiempo el estado de la pintura presenta deterioro a causa de la humedad e infiltración de agua que recibe de la losa. Este mismo problema se presentó y se corrigió hace siete meses para el espacio entre los pendolones P2 y P3.



Ilustración 7: Cubre juntas oxidado durante la inspección al Puente Pescadero en junio de 1995. Fuente: (SAC Estructuras Metálicas, 1995). (Cusba Morales, 2011)

- Riostras: el estado en general es bueno. Requiere reparación de algunas soldaduras secundarias que permitan mantener el contacto entre las vigas longitudinales y riostras (Ver Ilustración 8).



Ilustración 8: Riostras se encontraban sueltas de las vigas longitudinales durante la inspección al Puente Pescadero en junio de 1995. Fuente: (SAC Estructuras Metálicas, 1995). (Cusba Morales, 2011)

- Barandas: su estado es regular. Se necesita la reparación de las soldaduras, mantenimiento de la pintura, y en aquellas partes del bordillo de concreto desprendidas deben ser reconstruidas (Ver Ilustración 9).



Ilustración 9: Baranda caída a causa del desbancamiento de la placa durante la inspección al Puente Pescadero en junio de 1995. Fuente: (SAC Estructuras Metálicas, 1995). (Cusba Morales, 2011)

- Losa: su estado es regular. Especialmente la zona entre los pendolones P5 y P6 en la dirección Bogotá - Bucaramanga se evidencia desbancamiento en la parte de las barandas y agrietamiento lateral en la sección P4 al P5, que fue reparada en el mes de diciembre de 1994.
- Arco: se hizo una inspección de todos sus elementos tal y como se muestran a continuación.
- Vigas de arco: su estado general y apariencia es bueno.
- Vigas transversales: se hallan en buen estado.
- Riostras: su estado general y apariencia es bueno.
- Pendolones: se encuentran en mal estado. A causa de que se presenta rotura de las soldaduras de la parte superior en las platinas separadoras de estos elementos, lo que provoca vibraciones con el paso de los vehículos. Requiere de reparación inmediata.
Los pendolones en donde se presenta este problema son del No. 4 a No. 15 izquierdo y derecho, en el sentido que conduce la vía de Bogotá a Bucaramanga.
- Apoyos (Fijo y Móvil): su estado en general es bueno, aunque requiere de mantenimiento (limpieza, pintura de base y acabado).
- Juntas de dilatación: se hallan en mal estado, y es necesario reconstruirlas lo más pronto posible (Ver Ilustración 10).



*Ilustración 10: Estado de la juntas de dilatación durante la inspección al Puente Pescadero en junio de 1995.
Fuente: (SAC Estructuras Metálicas, 1995). (Cusba Morales, 2011)*

- Conexiones: consideradas como la tornillería y las soldaduras.
- Tornillería: se halla en buen estado.
- Soldaduras: a nivel general se hallan en buen estado, sin embargo, requiere de reparación inmediata de los pendolones y vigas longitudinales del tablero.

8.2.1.4.1. Nivelación

Se llevó a cabo la nivelación a lo largo de la viga principal en el sector de los pendolones, por lo que se pudo observar en la cartera topográfica que el puente tiene una diferencia de nivel de 2.5 cm entre la viga aguas arriba y aguas abajo.

8.2.1.4.2. Tránsito

Durante los días en los que se llevaron a cabo las inspecciones se observó el paso de hasta tres camiones tipo 3-S-2 atravesando el puente de manera simultánea, por lo que es inadecuado ya que se está superando las 40 toneladas que es la carga máxima del diseño.

Al igual, no se observó que se llevara a cabo un control de velocidad de desplazamiento de los vehículos que circulan sobre el puente.

8.2.1.5. Propuesta presentada al Instituto Nacional de Vías

El 14 de agosto de 1995 la firma SAC Estructuras Metálicas le presentó un documento al Instituto Nacional de Vías - Invias, el cual especificaba que se llevó a cabo una inspección al Puente Pescadero localizado sobre el Rio Chicamocha en el mes de junio del mismo año, puente que fue construido por la anterior empresa mencionada; y de cuya visita se mencionó que la estructura metálica presentaba un avanzado estado de deterioro, en especial los pendolones los cuales conforman el elemento estructural más importantes del puente.

Por lo anterior, recomendaron realizar a la mayor brevedad la reparación de dichos elementos, al igual que efectuar la protección y pintura del puente en general.

En lo que respecta al tránsito vehicular se hace necesario regularlo, ya que la estructura del puente está siendo sometida a excesivas cargas de trabajo que no coinciden con las cargas de diseño. Además de esto se presentan altas velocidades al ingresar al puente lo que causa fuertes cargas de impacto.

Dentro del siguiente informe correspondiente a la inspección del Puente Pescadero se presentan las conclusiones y recomendaciones, al igual que la propuesta técnica y comercial que permitirá determinar los costos de la reparación.

8.2.1.6. Propuesta Técnica

Objeto: reparación y protección general de la estructura.

Alcance

8.2.1.6.1. Reparaciones:

- Cálculo y/o refuerzo de los ángulos de conexión de las vigas longitudinales y transversales en su totalidad.
- Reparación de soldaduras de vigas longitudinales, riostras, barandas y platinas de pendolones.
- Colocación de platinas de refuerzo en los pendolones.
- Cambio de las juntas de dilatación.
- Reconstrucción de bordillos en concreto y reparación de la losa de concreto en los pendolones P4 P5 y P6.

8.2.1.6.2. Protección:

- Efectuar limpieza con chorro de arena, tipo SSPC-SP6.

8.2.1.6.3. Pintura:

- Efectuar la aplicación de pintura anticorrosiva y de acabado (aluminio extrareflectivo) con espesor de 3 milímetros cada una.

8.2.1.6.4. Control de Calidad:

- Por medio del Departamento de Control de la firma SAC Estructuras Metálicas se llevaron a cabo las siguientes pruebas:
- Control de certificación y ensayo de materiales
- Inspección de trazado y corte
- Control dimensional
- Inspección durante el proceso
- Inspección de soldadura
- Ensayos para soldadura
- Pruebas de adherencia para la pintura

8.2.1.7. Propuesta Comercial

8.2.1.7.1. Precio:

El precio total que tomará la reparación del Puente Pescadero es de \$280.000.000, este precio no incluye el Impuesto de Valor Agregado IVA.

Por lo tanto, el precio total que tomará la reparación del Puente Pescadero es de \$324.000.000 incluido el IVA a precios de 1996.

En la Tabla 2. que se presenta a continuación se hace una comparación de cuál fue el precio de la propuesta de reparación del Puente Pescadero presentada por la firma SAC Estructuras Metálicas en el año de 1995 y cuál sería el precio de esa misma a precios de 2020.

Objeto	Razón Social	Valor (incluido IVA) a precio de 1983	Valor (incluido IVA) a precio de 2020
Propuesta reparación Puente Pescadero en 1995	SAC Estructuras Metálicas	\$ 324.000.000,00	\$ 2.391.310.911,93

Tabla 2: Precio del costo de la propuesta de reparación del Puente Pescadero presentada en 1995 por la firma SAC Estructuras Metálicas y su correspondiente valor a precios de 2011. (SAC Estructuras Metálicas, 1995). (Cusba Morales, 2011)

8.2.1.7.2. Plazo de entrega:

La empresa SAC Estructuras Metálicas presentó una propuesta para reparar y pintar el puente entre los meses de agosto y diciembre de 1995, sin llevarse a cabo interrupciones del tráfico diurno, pero con interrupciones eventuales en la noche para llevar a cabo labores de reparación de la losa.

De acuerdo a la anterior inspección efectuada por SAC Estructuras Metálicas, se puede analizar que ésta se llevó a cabo a comienzos de junio de 1995, pero fue hasta el 14 de agosto del mismo año que le recomendó al Instituto Nacional de Vías para que iniciara lo más pronto la reparación del Puente Pescadero, para lo cual el Invias le solicitó a SAC Estructuras Metálicas que detallara los costos requeridos para la reparación, dándole respuesta esta última el 27 de noviembre de 1995, época para la cual el Instituto Nacional de Vías ya no contaba con recursos económicos.

Durante la inspección llevada a cabo por la firma SAC Estructuras Metálicas al Puente Pescadero seis meses antes del colapso de su estructura, no se detectaron los daños a simple vista de la unión arco-pendolón, sin embargo, si se hubiese hecho la reparación se podría haber detectado el daño y evitar el colapso del puente.

8.2.1.8. El colapso del puente y sus causas según (Universidad Nacional de Colombia, 1996)

De acuerdo a un estudio realizado por la (Universidad Nacional de Colombia, 1996) luego del colapso del Puente Pescadero, el Instituto Nacional de Vías solicitó a la mencionada universidad y específicamente a la Facultad de Ingeniería para que llevara a cabo un estudio que permitiera determinar las causas de colapso de la estructura. Para tal efecto la Facultad de Ingeniería encomendó dicha tarea a los

Ingenieros Rubén Darío Acosta García, Gustavo Cifuentes y Caori Patricia Takeuchi del Departamento de Ingeniería Civil, al igual que a los ingenieros Héctor Delgado Fiallo y Héctor Hernández Albañil del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia. El análisis de las causas del derrumbamiento de la estructura es el que se presenta a continuación.

En cuanto a la causa del colapso del Puente Pescadero este fue ocasionado por una falla por fatiga en la unión soldada del atiesador-lámina inferior del arco, lo que a su vez desencadenó problemas de fatiga en la lámina inferior del mismo y finalmente provocando un desplazamiento de dicha lámina, causando redistribución de esfuerzos en el arco del puente el cual no los pudo soportar. El primer problema de fatiga fue provocado por una deficiencia en el diseño del nudo arco-pondolón específicamente en la unión soldada atiesador-lámina inferior del arco. Dicha deficiencia se ve reflejada por la presencia de altos esfuerzos cíclicos para las cargas de diseño, a esto se le debe sumar el hecho de haber colocado un 20% menos de soldadura de la especificada de acuerdo a los planos de la mencionada unión.

Conforme al análisis estructural del Puente Pescadero, de haberse tenido un diseño adecuado de sus detalles, este puente no hubiera colapsado para la carga presente en el momento del desastre, ni con la carga de diseño.

El hecho de que se excedieran las relaciones ancho-espesor, al igual que los esfuerzos permisibles en el arco del puente, muestra que el arco se encontraba en condiciones desfavorables de trabajo, llegando en tal caso a presentar falla por pandeo local.

De acuerdo al anterior argumento y con base en la inspección visual y del análisis de los planos estructurales, se encaminó a buscar las causas en los detalles de los arcos del puente, concretamente en los nudos del arco correspondientes a la unión con los pendolones.

Para llevar a cabo la determinación de la causa del derrumbamiento del puente se recurrió a modelos de elementos finitos de los nudos del arco los cuales mostraron niveles altos de esfuerzos concentrados actuando en la platina interior del nudo

utilizada como atiesador. Este análisis arrojó como resultado que la unión atiesador-lámina inferior del cajón estaba sometida a esfuerzos en algunas zonas mayores a los permitidos por la norma AASHTO, en cuanto a los esfuerzos especificados por AASHTO estos tienen como objetivo el de evitar problemas de fatiga en la unión soldada.

Por lo tanto, el derrumbamiento del puente comenzó en un problema de fatiga que creó grieta(s) en la soldadura debido a los altos niveles de esfuerzo entre la lámina atiesadora y la lámina inferior del arco. Estas grietas se propagaron hasta que se separó la lámina inferior del arco de la lámina atiesadora, dicha separación de láminas se evidenció ya que la longitud de la soldadura era 20% menos de lo especificado en los planos.

Por tanto, la carga que se encontraba en el momento del desastre provocó el desplazamiento de la lámina inferior del arco, que para entonces presentaba grietas por fatiga, luego de esto se produjo redistribución de fuerzas en el arco y un incremento de fuerzas en los pendolones adyacentes al de la falla.

Finalmente, el arco queda con una sección transversal insuficiente para resistir la compresión en la zona del nudo en donde hubo desplazamiento y con cargas mayores en los nudos contiguos, y sumándole el hecho que la resistencia del arco disminuyó por problemas de pandeo local, y por la presencia de grietas de fatiga en los nudos contiguos al de la falla, los cuales se encontraban por lo tanto con más carga; luego la sumatoria de los eventos anteriores es lo que provoca la caída del puente.

8.2.1.9. Visita e inspección visual del puente

Para llevar a cabo un análisis detallado de las implicaciones que tuvo el colapso del puente, se llevó a cabo una visita de campo al Puente Pescadero localizado en el Departamento de Santander, entre los municipios de Bucaramanga y San Gil, la cual buscaba obtener apreciaciones de la comunidad que tuvo contacto con los

efectos del colapso de 1996, con el objetivo de conocer algunas percepciones generales respecto a lo que originó el colapso de este puente y sus implicaciones para cada uno de ellos de acuerdo a las diferentes actividades a las que se ocupaban para la fecha del colapso.

8.2.1.10. Estado actual del nuevo Puente Pescadero

De acuerdo a la visita realizada al nuevo Puente Pescadero el 12 de julio de 2011 ver Ilustración 11, cuya estructura reemplazó al colapsado, se logró hacer un registro fotográfico el cual permitió observar cómo era el estado de este puente. En resumen, esta estructura presenta un buen estado, como se puede observar en la Ilustración 12 e Ilustración 13.



Ilustración 11: Estado del Puente Pescadero durante la visita llevada a cabo el 12 de julio de 2011. (Cusba Morales, 2011)



Ilustración 12: Estado de la superficie de rodadura del Puente Pescadero. (Cusba Morales, 2011)



Ilustración 13: Estribo del Puente Pescadero localizado a la margen derecha del Río Chicamocha. (Cusba Morales, 2011)

8.2.1.11. Evaluación del impacto socioeconómico

De acuerdo con la metodología de la CEPAL para la evaluación del impacto socioeconómico de los desastres se procede a continuación a obtener una aproximación a los costos directos, indirectos y macroeconómicos del colapso.

8.2.1.12. Efectos directos

En cuanto a los daños directos de acuerdo al Manual para la Evaluación del Impacto Socioeconómico y Ambiental de los Desastres de la CEPAL, estos son entendidos como aquellos daños que se registran en el momento del desastre, o pocas horas después y son los que sufren los activos inmovilizados, destruidos o dañados.

Para el caso particular del colapso total del Puente Pescadero los resultados de los costos directos de dicho puente son los que ilustran la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5. El costo total estimado del nuevo puente fue cercano a los cuatro mil millones de pesos a precios de 1996, su construcción estuvo a cargo de la firma constructora Conconcreto S.A. y cuyo diseño e interventoría fue de la empresa Integral S.A.; este puente se inauguró el 19 de marzo de 1997 sobre el Río Chicamocha y comunica la carretera entre San Gil y Bucaramanga.

8.2.1.13. Costo del Puente Pescadero construido en 1983

En la Tabla 3 se presenta el valor de la construcción del Puente Pescadero construido en 1983.

Objeto	Razón Social	Valor (incluido IVA) a precio de 1983	Valor (incluido IVA) a precio de 2020
Construcción Puente Pescadero en 1983. Contratos No. 653 de 1983, No. 056 de 1985, No. 0327 de 1985, No. 513 de 1985	SAC Estructuras Metálicas	\$ 140.936.790,00	\$ 13.358.680.171,94

Tabla 3: Tabla de costos asociados a la construcción del Puente Pescadero en 1983 y su correspondiente valor a precio de 2020. Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 1983). (Cusba Morales, 2011)

8.2.1.14. Costo del puente provisional instalado en 1996

El costo del puente provisional instalado en 1996 que reemplazó a la estructura colapsada se presenta por medio de la Tabla 4.

Objeto	Razón Social	Valor (incluido IVA) a precio de 1996	Valor (incluido IVA) a precio de 2020
La consultoría, asesoría e interventoría técnica y administrativa para el montaje del puente provisional el Pescadero sobre el Río Chicamocha carretera San Gil - Bucaramanga K55+000. Contrato No. 960002.	Proyectistas Civiles Asociados Ltda - PCA Ltda	\$ 17.303.140,00	\$ 106.868.940,73
Montaje Puente Provisional y montaje de la estructura colapsada en el sitio Pescadero en la carretera San Gil - Bucaramanga. Contrato No. 960030.	Conconin Ltda	\$ 515.934.285,00	\$ 3.186.551.719,79
Desmontaje, limpieza, reparación y traslado del puente Bailey doble simple reforzado localizado sobre el Río Chicamocha el Pescadero ubicado en la carretera Bucaramanga Bogotá. Contrato No. OJ960263.	Miguel Martinez	\$ 11.858.400,00	\$ 73.240.732,42
Operar el sistema de los equipos instalados en cada entrada del puente provisional de Pescadero en la carretera San Gil - Bucaramanga. Contrato No. OJ960515.	Antares Tecnología Ltda	\$ 18.127.200,00	\$ 111.958.561,42
Compraventa e instalación de equipos para el control de acceso de vehículos sobre el puente provisional de Pescadero, en la carretera Bucaramanga - San Gil. Contrato No. OJ960516	Antares Tecnología Ltda. Consorcio	\$ 78.915.171,00	\$ 487.401.750,92
Operar el sistema de los equipos en cada entrada de puente provisional de Pescadero, en la carretera Bucaramanga. Contrato No. 960727.	Antares Tecnología Ltda	\$ 42.055.104,00	\$ 259.743.862,49
Operar el sistema de los equipos instalados en cada entrada del puente provisional de Pescadero, en la carretera Bucaramanga - San Gil. Contrato No. OJ970002.	Antares Tecnología Ltda	\$ 36.584.470,00	\$ 225.955.725,73
Construcción obras de emergencia - interventoría para el desmonte y transporte a Santa Fé de Bogotá de puente provisional Pescadero ubicado en la carretera San Gil - Bucaramanga. Contrato No. OJ970203.	Consultores y Construcciones de Obra Ltda	\$ 17.710.135,00	\$ 109.382.653,53
Desmonte y transporte a Santa Fé de Bogotá puente provisional Pescadero, ubicado en la carretera San Gil - Bucaramanga. Contrato No. OJ970212.	CMG Construcciones y Montajes Generales Ltda	\$ 142.857.748,00	\$ 882.328.652,72
	TOTAL	\$ 881.345.653,00	\$ 5.443.432.599,76

Tabla 4: Costos directos asociados con la instalación del puente provisional que permitía cruzar el Río Chicamocha debido al colapso del Puente Pescadero y su correspondiente valor a precio de 2020. (Ministerio de Transporte, Contratos, 2011). (Cusba Morales, 2011)

8.2.1.15. Costo del puente Pescadero construido en 1996

En la Tabla 5 se presentan los costos que involucraron la construcción del nuevo Puente Pescadero.

Objeto	Razón Social	Valor (incluido IVA) a precio de 1996	Valor (incluido IVA) a precio de 2020
Cosntrucción Puente Pescadero. Contrato No. 170 de 1996	Concretos S.A.	\$ 2.817.767.176,00	\$ 17.403.303.292,13
Diseño e Interventoria para la construcción del Puente Pescadero. Contrato No. 160 de 1996	Integral S.A	\$ 948.572.245,00	\$ 5.858.642.479,35
TOTAL		\$ 3.766.339.421,00	\$ 23.261.945.771,48

Tabla 5: Costos directos asociados a la construcción del nuevo Puente Pescadero en 1996 y su correspondiente valor a precio de 2020.

En la Ilustración 14 hasta la Ilustración 21 se presenta una secuencia cronológica de todas las actividades encaminadas a restablecer la movilidad en el sector del Puente Pescadero, comenzando desde el mismo momento en el que se ocasionó la caída de este puente sobre el Río Chicamocha.



Ilustración 14: Puente Pescadero colapsado el 7 de enero de 1996. Fuente: (Notivías, Puente Pescadero colapsado, 1996).



Ilustración 15: Puente Pescadero colapsado el 7 de enero de 1996. (Notivías, Puente Pescadero colapsado, 1996).

De acuerdo a las narraciones expresadas por las personas entrevistadas en cercanías al Puente Pescadero, una de las alternativas que utilizaron los conductores de los vehículos para atravesar el río Chicamocha era el de cruzar este río por medio de un puente provisional instalado por la Oficina de Emergencias del Invias, cuya apertura se dio el 21 de enero de 1996 para vehículos con peso menor a las 12 toneladas Ilustración 16.



Ilustración 16: Instalación de puente provisional metálico sobre el Río Chicamocha a cargo de la Oficina de Emergencias del Instituto Nacional de Vías. Fuente: (Notivías, Obras de construcción del puente provisional de Pescadero, a cargo de la oficina de emergencias de I.N.V, 1996) (Cusba Morales, 2011)

El puente vehicular que se instaló sobre el Río Chicamocha, ver Ilustración 17, permitía el paso a través de este río, pero estaba condicionado a verse afectado en la medida en la que se llegaran a presentar crecientes súbitas y excesivo peso de los vehículos que lo utilizaban.



Ilustración 17: Tránsito de vehículos sobre puente provisional metálico con capacidad menor a las 12 toneladas. Fuente: (El Tiempo, 1996). (Cusba Morales, 2011)

Una vez que colapsó el Puente Pescadero se iniciaron labores para rehabilitar prontamente el tránsito por la zona, para lo cual desde el 12 de enero de 1996 se comenzaron con las actividades de instalación de un puente provisional metálico junto al puente colapsado, ver Ilustración 18.



Ilustración 18: El 12 de enero de 1996 comienza la construcción del puente provisional metálico localizado junto al derrumbado Puente Pescadero. Fuente: (Notivías, 1996). (Cusba Morales, 2011)

Para el 30 de enero de 1996 se encontraba el puente provisional en proceso de construcción, como se observa en la Ilustración 19.



Ilustración 19: El 30 de enero de 1996 se adelantaban labores de construcción del puente provisional colgante metálico. Fuente: (Notivías, 1996). (Cusba Morales, 2011)



Ilustración 20: El 15 de febrero de 1996 se llevó a cabo la prueba de carga una vez concluida la terminación del puente provisional. Fuente: (Notivías, 1996). (Cusba Morales, 2011)

Para el 16 de febrero culminó la construcción de este puente provisional y al día siguiente 17 de febrero de 1996 este puente ya se encontraba en uso, lo que permitió agilizar el tránsito en la carretera San Gil – Bucaramanga, cuya estructura fue destinada al paso de vehículos con peso menor a las 20 toneladas y restricción a un solo carril, como se observa en la Ilustración 21.

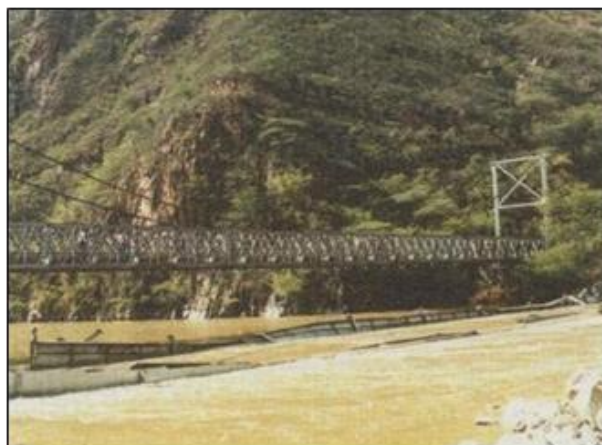
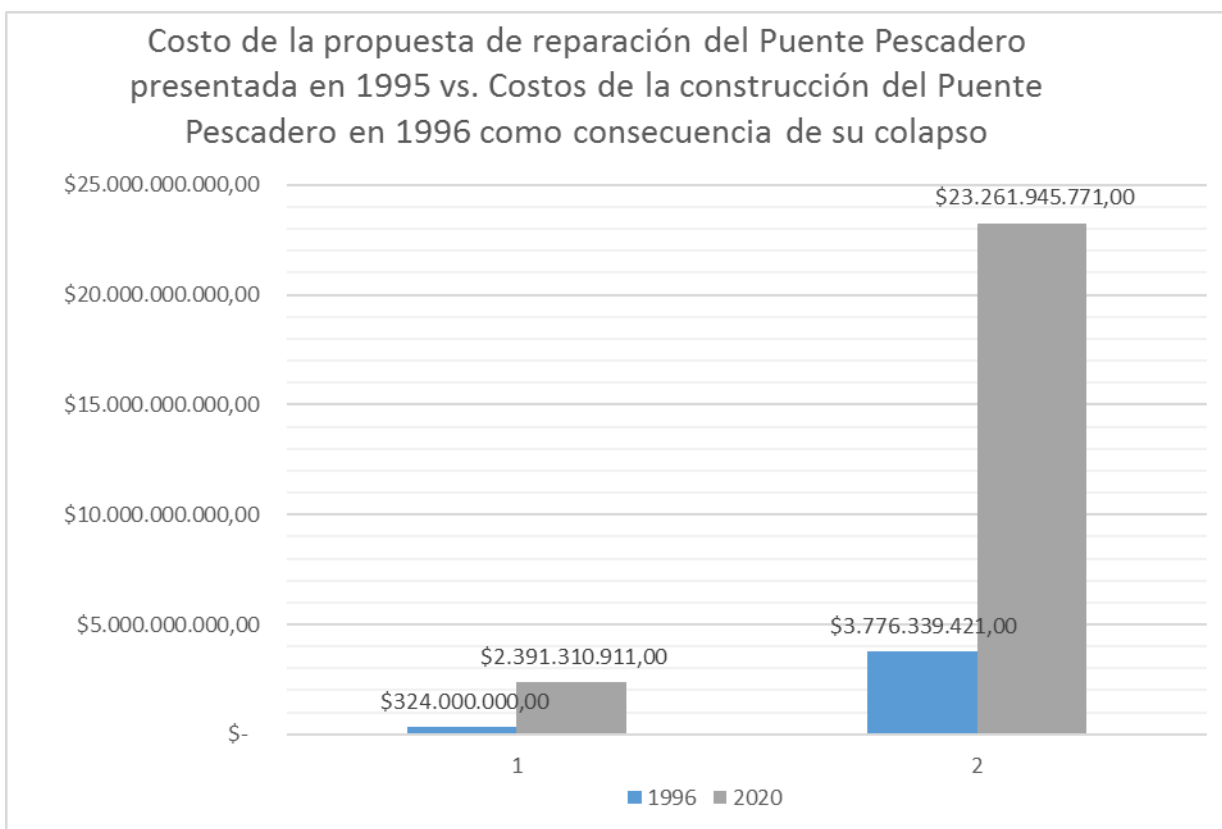


Ilustración 21: El 16 de febrero de 1996 el puente provisional ya estaba a disposición del tránsito vehicular. Fuente: (Notivías, 1996). (Cusba Morales, 2011)

La Gráfica 6 presenta el contraste entre el costo de la propuesta de reparación que presentó la empresa SAC Estructuras Metálicas S.A. al Instituto Nacional de Vías, en lo que respecta a la Inspección al Puente Pescadero efectuada en 1995, frente al costo que realmente se pagó por la construcción del mismo ante el colapso de la estructura ocurrido en enero de 1996.



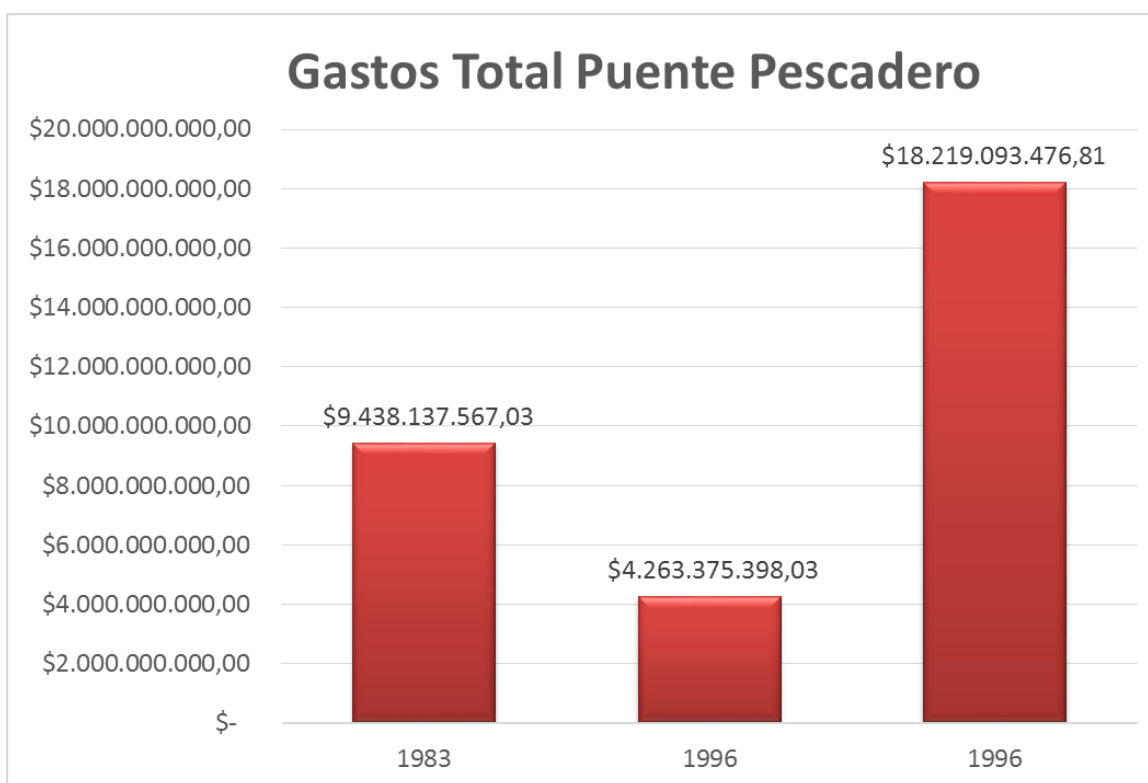
Gráfica 6: Comparación de los costos directos de la construcción del Puente Pescadero a precios de 1996 y a precios de 2011 frente a la propuesta de reparación de la empresa SAC presentada en 1995. (Ministerio de Transporte, Contratos, 2011), (SAC Estructuras Metálicas, 1995). (Cusba Morales, 2011)

8.2.1.16. Costos directos totales del Puente Pescadero

En la Tabla 6 que se presenta a continuación, se hace un resumen de los costos directos involucrados con respecto al colapso del Puente Pescadero, al igual que los costos representados a precios de 2020.

Objeto	Razón Social	Valor (incluido IVA) a precio de 1996	Valor (incluido IVA) a precio de 2020
Costo construcción Puente Pescadero en 1983	SAC Estructuras Metálicas	\$ 2.162.902.632,41	\$ 13.358.680.171,94
Propuesta reparación Puente Pescadero en 1995	SAC Estructuras Metálicas	\$ 324.000,00	\$ 2.391.310.911,93
Costo de la instalación del puente provisional en 1996	Proyectistas Civiles Asociados Ltda - PCA Ltda, Conconin Ltda, Miguel Martínez, Tecnología Ltda, Consultores y Construcciones de Obra Ltda, CMG Construcciones y Montajes generales Ltda	\$ 881.345.653,00	\$ 5.443.432.599,76
Costo de la construcción del Puente Pescadero en 1996	Concreto S.A, Integral S.A.	\$ 3.766.339.421,00	\$ 23.261.945.771,48
TOTAL		\$ 6.810.911.706,41	\$ 44.455.369.455,11

Tabla 6: Costos totales directos de la construcción del Puente Pescadero en 1983 y 1996 y sus correspondientes valores a precios de 2020. (SAC Estructuras Metálicas, 1995), (Ministerio de Transporte, Contratos, 2011). (Cusba Morales, 2011)



Gráfica 7: Gastos total puente pescadero

8.2.1.17. Efectos indirectos

Respecto a los daños indirectos de acuerdo al Manual para la Evaluación del Impacto Socioeconómico y Ambiental de los Desastres de la CEPAL, estos hacen referencia a los bienes y servicios que se dejan de producir o prestar durante el lapso que inicia luego de ocurrido el accidente y que se puede prolongar durante la fase de rehabilitación y reconstrucción; esta clase de daños no siempre se puede medir en términos monetarios. Dentro de esta clase de daños se puede mencionar la pérdida de cosechas como consecuencia de la pérdida de tierras agrícolas o sequías prolongadas, pérdida de producción industrial con ocasión a los daños en las plantas o por falta de materia prima, los aumentos de costos de transporte ocasionado por la necesidad de emplear vías alternas o medios de comunicación que son más costosos y de menor calidad. También constituyen daños indirectos aquellos efectos intangibles como lo son el sufrimiento humano, la inseguridad, la admiración o rechazo por parte de la comunidad respecto a la forma en la que las autoridades afrontan las consecuencias del desastre y otros factores en cuanto al bienestar y la calidad de vida. Para llevar a cabo esta clase de evaluación no se

dispone de la información necesaria para determinar el valor monetario de estos efectos.

8.2.1.17.1. Transporte

Se consideró como el primer daño indirecto la afectación que se produjo en los costos de transporte por vía terrestre ver Ilustración 22, en cuanto a esto cabe mencionar el testimonio de una de las personas entrevistadas durante la visita realizada al sector del Puente Pescadero, el cual se dedicaba para la fecha del colapso de la estructura, como conductor de una empresa de transporte de carga, quien argumentó que pasó dos horas después de la caída del puente anteriormente mencionado y quien se dirigía desde Tunja hacia Barranquilla cargado con verduras, de acuerdo a su relato, al ver esta situación tomó la decisión de devolverse nuevamente hacia Tunja y tomar la vía Tunja – Bogotá – Honda – Medellín – Barranquilla, este viaje normalmente le tomaría 19 horas por la ruta inicialmente planeada, pero a causa del derrumbamiento del puente este mismo recorrido se le aumentó a 38 horas, aumentándose por lo tanto costos de combustible y peajes. En lo que respecta a las empresas de mudanzas estas también sufrieron los efectos de la caída del puente ya que mucha de ellas no prestaron su servicio para dirigirse hacia el interior del país, y otras tomaron vías alternas para llegar a Bogotá desde la Costa Norte, como lo es desplazándose desde Barranquilla hasta Medellín – Manizales – Mariquita – Honda – Villeta– Sasaima y finalizando en la capital del país.

Las vías alternas que establecieron las autoridades departamentales de Santander a los transportadores y conductores consistían en primer lugar para aquellos que se dirigían de la costa norte hacia el centro del país tomar la Troncal del Magdalena Medio que inicia en el municipio de San Alberto en el sur del Cesar y que pasa por Puerto Araujo – Puerto Olaya –Doradal – Honda – Girardot, para los conductores quienes decidan optar por esta solución el viaje tomaría aproximadamente 11 horas. Como una segunda opción para los que se dirigen de Bogotá-Bucaramanga-Costa Norte pero limitado para el transporte pesado, se planteó la alternativa de utilizar las vías Socorro – Berlín – Galán – Zapatoca – Girón – Bucaramanga y de allí dirigirse

hacia la Costa Norte o hacia Cúcuta, el inconveniente que presenta esta última alternativa es debido a que toda la carretera se encuentra destapada.

Otra alternativa era la de la Troncal del Norte para aquellos quienes viajan entre Cúcuta y Bogotá, comenzando por Cúcuta cruzando por los municipios de Pamplona – Silos – Chitaga – Cerrito – Málaga – Duitama y por último Bogotá, esta vía estaba restringida a vehículos livianos y se encontraba en un 80% destapada pero transitable.



Ilustración 22: Puente Pescadero luego de su colapso ocurrido el 7 de enero de 1996. Fuente: (Tiempo, 1996). (Cusba Morales, 2011)

Para llevar a cabo una aproximación de los costos monetarios que se ocasionaron sobre el transporte, se estableció para ello determinar que la vía que corresponde a San Gil – Los Curos en el Departamento de Santander, era la carretera sobre la cual se encontraba ubicado el Puente Pescadero, y la más afectada por la caída de esta estructura, ya que luego de presentar este evento no se pudo transitar con facilidad a lo largo de ésta. Paso seguido se investigó cual era el tránsito promedio diario para el año en el cual se ocasionó el desastre y cuáles eran los porcentajes que le correspondían a automóviles, buses y camiones. Se tuvo en cuenta también el costo de operación vehicular por kilómetro recorrido, al igual que la distancia que cubría el trayecto San Gil – Los Curos, cuyos resultados son los que se presentan a continuación, se presentan los principales factores que se tuvieron en cuenta para determinar los costos diarios y totales que se generaron en el transporte con el derrumbamiento del Puente Pescadero, los cuales se representan por medio de la

Gráfica 8, Gráfica 9 y Gráfica 10: Comparación de los costos totales de transporte para la fecha del desastre vs. Costos a precios de 2011 y proyectado al año 2020. (Instituto Nacional de Vías, 2007).

Tipo de Vehículo	TPD para el año 1996 (número de vehículos)	Distancia San Gil - Los Cueros (Km)	\$/Km a precios de 1996 (pesos)	\$/Km a precios de 2020 (pesos)	Valor de las pérdidas diarias en el transporte a precios de 1996 (millones de pesos)
Automóviles	2131	70	\$ 324,00	\$ 2.001,11	\$ 48.331.080,00
Buses	142	70	\$ 1.408,00	\$ 8.696,19	\$ 13.995.520,00
Camiones	1279	70	\$ 2.430,00	\$ 15.008,35	\$ 217.557.900,00
TOTAL					\$ 279.884.500,00

Tipo de Vehículo	Valor de las pérdidas diarias en el transporte a precios de 1996 (millones de pesos)	Valor de las pérdidas diarias en el transporte a precios de 2020 (millones de pesos)	Valor total de las pérdidas en el transporte durante los 10 días que duró la instalación del puente provisional a precios de 1996 (millones de pesos)	Valor total de las pérdidas en el transporte durante los 10 días que duró la instalación del puente provisional a precios de 2020 (millones de pesos)
Automóviles	\$ 48.331.080,00	\$ 298.506.012,43	\$ 483.310.800,00	\$ 2.985.060.124,34
Buses	\$ 13.995.520,00	\$ 86.440.171,98	\$ 139.955.200,00	\$ 864.401.719,79
Camiones	\$ 217.557.900,00	\$ 1.343.697.289,67	\$ 2.175.579.000,00	\$ 13.436.972.896,65
	\$ 279.884.500,00	\$ 1.728.643.474,08	\$ 2.798.845.000,00	\$ 17.286.434.740,79

Tabla 7: Variables involucradas para la determinación de los costos de transporte que implicó la caída del Puente Pescadero en 1996 y su correspondiente valor a precio de 2020. (Instituto Nacional de Vías, 2007). (Cusba Morales, 2011)

En la Tabla 8 que se presenta a continuación se hace la comparación entre las pérdidas diarias en el transporte a precios de 1996 y los correspondientes a precios de 2011 y 2020.

Tipo de vehículo	Valor de las pérdidas diarias en el transporte a precios de 1996 (millones de pesos)	Valor de las pérdidas diarias en el transporte a precios de 2011 (millones de pesos)	Valor de las pérdidas diarias en el transporte a precios de 2020 (millones de pesos)
Automóviles	\$ 48.331.080,00	\$ 140.201.463,00	\$ 298.506.012,43
Buses	\$ 13.995.520,00	\$ 40.598.976,00	\$ 86.440.171,98
Camiones	\$ 217.557.900,00	\$ 631.103.956,00	\$ 1.343.697.289,67
	\$ 279.884.500,00	\$ 811.904.395,00	\$ 1.728.643.474,08

Tabla 8: Comparación de las pérdidas diarias en el transporte a precios de 1996 vs. A precios de 2011 y su correspondiente valor a precio de 2020. (Instituto Nacional de Vías, 2007). (Cusba Morales, 2011)

En la Gráfica 8 se observan las pérdidas diarias que se ocasionaron en el transporte con ocasión del colapso del Puente Pescadero a precios de 1996, comparado a lo que representaría dichas pérdidas a precios de 2011.

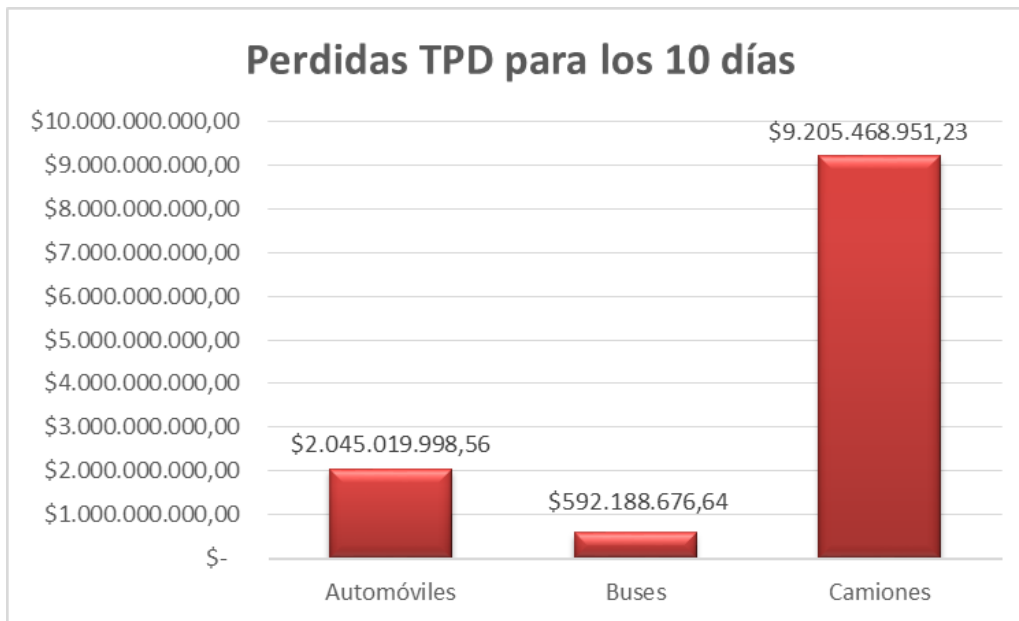


Gráfica 8: Comparación de las pérdidas diarias de transporte para la fecha del desastre vs. Costos a precios de 2011. (Instituto Nacional de Vías, 2007). (Cusba Morales, 2011) Actualizado a 2020.

En la Tabla 9 que se presenta a continuación se hace la comparación entre las pérdidas totales que se ocasionaron en el transporte a precios de 1996 y los correspondientes a precios de 2011, proyectado al año 2020.

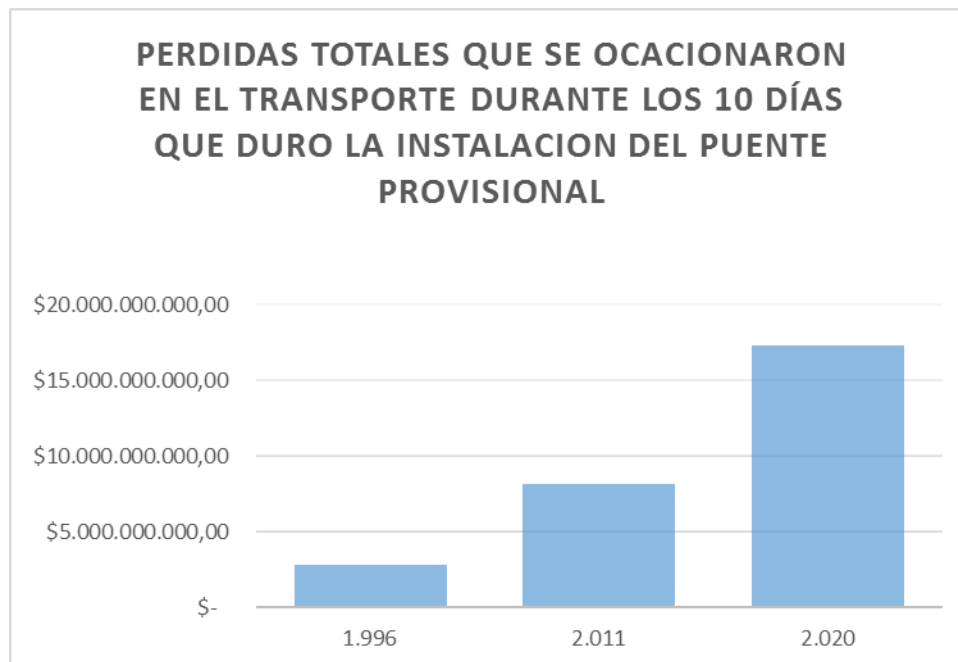
Tipo de vehiculo	Valor de las pérdidas en el transporte durante los 10 días que duró la instalación del puente provisional, a precios de 1996 (millones de pesos)	Valor de las pérdidas en el transporte durante los 10 días que duró la instalación del puente provisional, a precios de 2011 (millones de pesos)	Valor de las pérdidas en el transporte durante los 10 días que duró la instalación del puente provisional, a precios de 2020 (millones de pesos)
Automóviles	\$ 483.310.800,00	\$ 1.402.014.630,00	\$ 2.985.060.124,34
Buses	\$ 139.955.200,00	\$ 405.989.760,00	\$ 864.401.719,79
Camiones	\$ 2.175.579.000,00	\$ 6.311.039.560,00	\$ 13.436.972.896,65
	\$ 2.798.845.000,00	\$ 8.119.043.950,00	\$ 17.286.434.740,79

Tabla 9: Comparación de las pérdidas totales en el transporte durante los 10 días que duró la instalación del puente provisional a precios de 1996 vs. Precios de 2011 y su correspondiente valor a precio de 2020. (Instituto Nacional de Vías, 2007). (Cusba Morales, 2011)



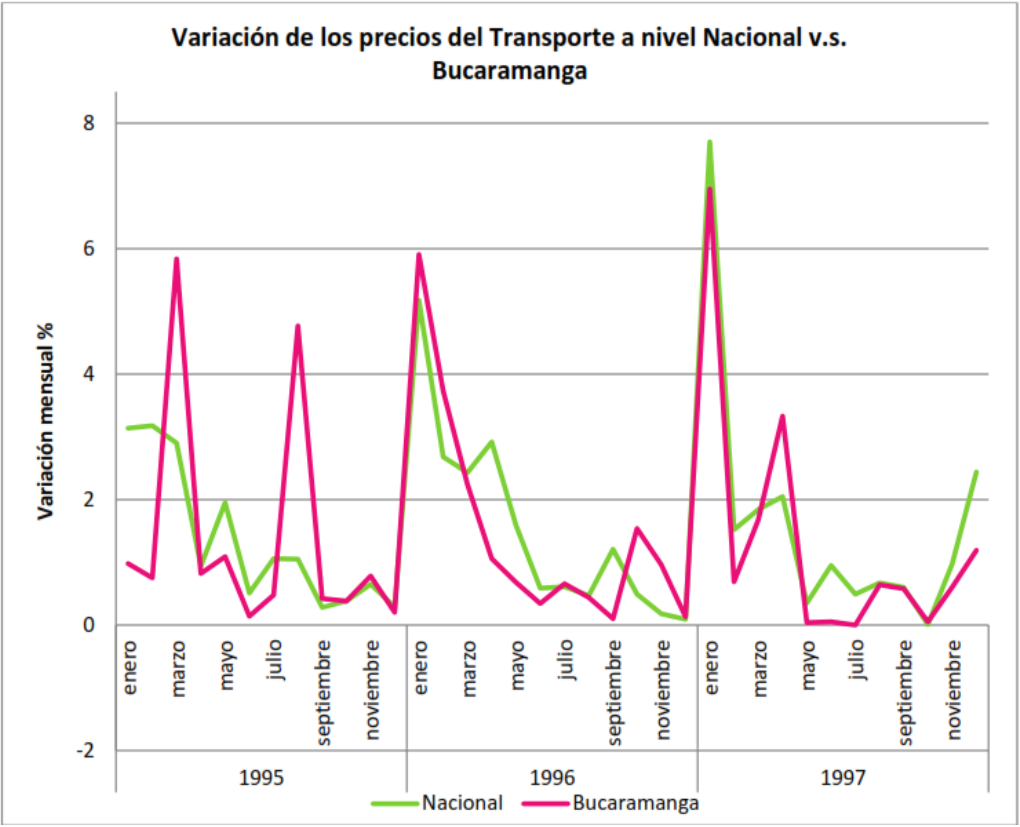
Gráfica 9: Perdidas TPD para los 10 días.

En la Gráfica 10 se observan las pérdidas totales que se ocasionaron en el transporte durante los 10 días que duró la instalación del puente provisional con ocasión del colapso del Puente Pescadero a precios de 1996, comparado a lo que representaría dichas pérdidas a precios de 2011 y proyectado al año 2020.



Gráfica 10: Comparación de los costos totales de transporte para la fecha del desastre vs. Costos a precios de 2011 y proyectado al año 2020. (Instituto Nacional de Vías, 2007). (Cusba Morales, 2011)

La Gráfica 11 permite ver que la caída del Puente Pescadero por ser parte fundamental de la infraestructura vial al conectar el centro con el norte y sur del país, influyó bastante en los precios del transporte a nivel nacional y de Bucaramanga, hasta el punto en el cual se presentó un pico alto para la fecha en la cual se ocasionó el colapso de la estructura, debido en parte que el hecho de no haber un puente que permitiera cruzar al otro lado del Río Chicamocha conllevó a que se establecieran vías alternas que suplieran la falta de esta estructura, ocasionando incrementos en los costos del transporte en la medida en la que estas vías se caracterizaban por ser extensas en longitud y por encontrarse en considerables estados de deterioro, todo con el objetivo de permitir que tanto pasajeros como la carga transportada en los correspondientes vehículos llegaran a su destino final para este caso Bucaramanga.



Gráfica 11: Comportamiento de los precios de transporte en Colombia y Bucaramanga. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 1995-1997). (Cusba Morales, 2011)

8.2.2. Estudio Puente Agua Blanca en Otanche – Boyacá

8.2.2.1. Antecedentes

Con el fin de actualizar un caso de estudio, se realizara un caso reciente el cual se ubica en Otanche – Boyacá, haciendo mención al el CONTRATO 260 DE 2014 – CONSTRUCCION DEL PUENTE VEHICULAR “QUEBRADA BLANCA”, UBICADO EN LA VIA DOS Y MEDIO-OTANCHE-CHIQUINQUIRA, este puente fue ejecutado por la Unión Temporal Juanchito integrado por Amezquita Naranjo Ingeniería y S Y M Ingeniería SAS, bajo la administración del Fondo Adaptación con recursos del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), este fue el acta de recibo definitivo con las cantidades ejecutadas:

Mediante el contrato 260 de 2014, se construyó un puente localizado en el Departamento de Boyacá, Municipio de Otanche, sobre la Quebrada Agua Blanca, ubicado en el K92-840 en la carretera Dos y Medio - Otanche, corresponde a una estructura metálica en acero A-588 conformado por un Arco atirantado apoyado sobre estribos tipo silleta, apoyados sobre pilotes, los cuales transmiten las cargas a estratos competentes y estables, con una sola luz de 100 metros (Estribo-Estribo) con un ancho de tablero 11.75 metros, un andén de un (1) metro a un costado, y bordillo al otro costado, soportado en dos estribos, uno a cada extremo, soportado sobre pilotes de 1,20 metros de diámetro. En total se ejecutaron 268 metros lineales de pilotes de 1,20 metros de diámetro, construidos manualmente, en su totalidad con camisa en concreto y con una profundidad de 10, 15, 28 y 36 metros. Se construyeron los dos accesos, conformado con relleno, material de sub-base, una capa de base y la carpeta asfáltica MS-2. Se colocó carpeta asfáltica MS-2 sobre el tablero, se demarco con señalización vertical y horizontal. Además, se construyeron Bolsacretos en el cauce de la quebrada, protegiendo la margen izquierda y derecha. La vía en la que se localiza el puente, es de origen nacional. La estructura del puente quedó terminada en su totalidad.



• Entregado para funcionamiento – Julio 2016

Ilustración 23. Puente Agua Blanca entregado

8.2.2.2. Presupuesto

	MINISTERIO DE HACIENDA FONDO ADAPTACIÓN Convenio Interadministrativo Marco No. 014 de 31 de mayo de 2012 MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA PROCESO, SUPERVISIÓN, EJECUCIÓN Y SEGUIMIENTO A PROYECTOS MANUAL DE INTERVENTORÍA OBRA PÚBLICA ACTA DE ENTREGA Y RECIBO DEFINITIVO DE OBRA			CÓDIGO	MSE-FR-24
				VERSIÓN	2
				PÁGINA	2 DE 4

ITEM DE PAGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNIT	V. TOTAL
VALOR TOTAL DE LA OBRA EJECUTADA:					
Valor total básico de la obra ejecutada:				\$ 9.411.229.157,45	
Valor Ajustes:				\$ -	
Valor IVA:				\$ 56.155.492,15	
Valor total de la obra :				\$ 9.467.384.649,60	
CANTIDADES TOTALES DE LA OBRA EJECUTADA (POR TRAMOS SI APLICA):					
I - PRELIMINARES					
					24.402.348,82
200,1	Desmante y limpieza zonas no boscosas	Ha	0,46	800.617,00	368.283,82
201,2	Remoción cercas de alambre	m	96,00	1.558,00	149.568,00
201,2	Demolición de estructuras	m3	189,00	126.373,00	23.884.497,00
201,1	Remoción señal vertical de tránsito	un	0,00	8.180,00	-
II - EXCAVACIONES Y RETIROS (EXPLANACIONES)					
					-
210,2,2	Excavación en material común de la explanación y canal	m3	0,00	10.173,00	-
210,2,1	Excavación en roca de la explanación y canales	m3	0,00	42.132,00	-
220,1	Terraplenes	m3	0,00	16.305,00	-
210,2,4	Excavación en material común de prestamos	m3	0,00	36.629,00	-
III - BASES Y SUB-BASES					
					66.112.700,00
320,1	Subbase granular	m3	175,73	190.000,00	33.388.700,00
330,1	Base granular	m3	162,00	202.000,00	32.724.000,00
IV - PAVIMENTOS					
					-
421,1	Riego de imprimación con emulsión asfáltica CRR-1	m2	0,00	4.137,00	-
450,2P	Mezcla densa en caliente tipo MDC-2	m3	0,00	759.321,00	-
V - REDES Y DRENAJES					
					922.267.909,32
600,2	Excavaciones varias en roca en seco	m3	79,50	54.544,00	4.336.248,00
600,4	Excavaciones varias en material común en seco	m3	1.145,19	16.327,00	18.697.517,13
600,5	Excavaciones varias en material común bajo agua	m3	346,36	24.471,00	8.475.775,56
681,1	Gavión	m3	222,00	364.684,00	80.959.848,00
681,1P	Enrocado	m3	78,71	272.278,00	21.431.001,38
673,2	Geotextil	m2	1.825,25	4.625,00	8.441.781,25
630,6,1P	Bolsacreto	m3	1.235,80	631.110,00	779.925.738,00
VII - OBRAS CIVILES MAYORES (PONTONES Y PUE)					
					7.066.160.649,41
600,2	Excavaciones varias en roca en seco	m3	159,04	54.544,00	8.674.677,76
600,4	Excavaciones varias en material común en seco	m3	3.041,32	16.327,00	49.655.631,64
600,5	Excavaciones varias en material común bajo agua	m3	0,00	24.471,00	-
621,1	Pilote de concreto fundido in situ d=1.2 m F'c 28MPa	m	268,00	2.986.385,00	800.351.180,00
630,3,4	Concreto Clase C (28MPa) Estribos	m3	192,38	952.043,00	183.154.032,34
630,3,2	Concreto Clase C (28MPa) Tablero	m3	314,00	1.022.806,00	321.161.084,00
630,3,5	Concreto Clase C (28MPa) Losas contrapiso	m3	36,00	804.985,00	28.979.460,00
630,6	Concreto Clase F (14MPa)	m3	31,09	595.051,00	18.500.135,59
640,1	Acero de refuerzo fy=420 Mpa	Kg	94.433,15	4.265,00	402.757.384,75
650,2	Fabricación de estructura metálica	kG	433.928,00	8.695,00	3.773.003.960,00
650,3	Transporte de estructura metálica	kG	433.928,00	993,00	430.890.504,00
650,4	Montaje de estructura metálica	kG	433.928,00	2.055,00	891.722.040,00
421,1	Riego de liga con emulsión asfáltica CRR-1	m2	1.752,00	4.137,00	7.248.024,00
450,2P	Mezcla densa en caliente MDC-2	m3	52,18	759.321,00	39.621.369,78
732P	Baranda metálica peatonal	m	101,00	293.040,00	29.597.040,00
732,1P	Baranda metálica vehicular	m	101,00	350.233,00	35.373.533,00
642,2	Sello para juntas de puentes	m	23,30	1.517.184,00	35.350.387,20
673,2	Geotextil	m2	88,19	4.625,00	407.878,75
610,2	Relleno con material filtrante	m3	9,80	208.857,00	2.046.798,60
674P	Tubo PVC diámetro 4"	m	156,00	49.138,00	7.665.528,00


	MINISTERIO DE HACIENDA FONDO ADAPTACIÓN Convenio Interadministrativo Marco No. 014 de 31 de mayo de 2012				CÓDIGO	MSE-FR-24		
	MINISTERIO DE TRANSPORTE INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA PROCESO, SUPERVISIÓN, EJECUCIÓN Y SEGUIMIENTO A PROYECTOS MANUAL DE INTERVENTORÍA OBRA PÚBLICA ACTA DE ENTREGA Y RECIBO DEFINITIVO DE OBRA				VERSIÓN	2		
					PÁGINA	3	DE	4
					FECHA	27	7	16
UNIDAD EJECUTORA		FONDO ADAPTACIÓN		DIRECCION TERRITORIAL		BOYACÁ		
CONTRATO DE OBRA N°		260		DE		2014		
OBJETO DEL CONTRATO: CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE VEHICULAR "QUEBRADA BLANCA" UBICADO EN LA VÍA DOS Y MEDIO - OTANCHE								
RUTA 6006 - VÍA DOS Y MEDIO - OTANCHE								
VIII - ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN								
X- SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD							8.707.540,00	
710.1	Señal vertical de tránsito	Un	12,00	413.605,00			4.963.260,00	
700.1	Línea demarcación con pintura en frío	m	640,00	1.493,00			955.520,00	
701.1	Tacha reflectiva	Un	260,00	10.726,00			2.788.760,00	
XI- OBRAS VARIAS							5.498.961,00	
800.2	Cerca de alambre de púas con postes de concreto	m	247,00	22.263,00			5.498.961,00	
XII - TRANSPORTE							-	
900.2	Transporte de materiales provenientes de la excavación	m3-Km	0,00	954,00			-	
PRECIOS NO PREVISTOS							1.095.178.863,90	
610.1	Relleno para estructuras	m3	2.888,63	210.000,00			606.612.300,00	
674.1P	Tubo PVC diametro 6"	m	45,60	38.174,00			1.740.734,40	
621.5	Camisa metálica permanente	m	0,00	2.091.396,00			-	
621.1P	Camisa permanente en concreto reforzado de 2500 psi	m3	268,00	558.776,00			149.751.968,00	
900.1P	Sobre Acarreo de materiales	m3-Km	338.767,70	995,00			337.073.861,50	
SUBTOTAL							\$ 9.188.328.972,45	
Obras Ambientales del PAGA							\$ 67.152.233,00	
Costo PMT							\$ 145.572.952,00	
Costos de Predios							\$ 10.175.000,00	
Provisión de obras adicionales y/o complementarias 3%							-	
Valor Basico (Obras, Provisiones)							\$ 9.411.229.157,45	
I.V.A. Obras (16% , sobre utilidad)							\$ 56.155.492,15	
Valor Total Obra incluye I.V.A.							\$ 9.467.384.649,60	
Costos Directos							-	
Administración (A)							\$ 7.019.436.519,28	
Imprevistos (I)							\$ 1.684.664.764,63	
Utilidad (U)							\$ 210.583.095,58	
Reembolso Gestion Social Ambiental del P.A.G.A							\$ 350.971.825,96	
Valor Total Basico Acta							-	
Valor Total I.V.A Acta							\$ 9.411.229.157,45	
VALOR TOTAL ACTA							\$ 56.155.492,15	
AIU (32)%							\$ 9.467.384.649,60	

Tabla 10: Acta de Entrega y recibo definitivo, Puente Agua Blanca.

8.2.2.3. Efectos posteriores a la entrega

Luego de entregado el puente, aproximadamente 6 meses después, los habitantes de la zona realizaron un llamado referente a comportamientos de la estructura, quienes consultaron si era normal que el puente emitiera unos sonidos fuertes, cuya respuesta expresada por el especialista estructural fue que podía ser normal debido a su acomodación y además como es metálico el cambio de temperatura hace que se dilate y sufra luego contracciones por esta variación, derivando este sonido, pero luego se empezaron a reflejar grietas en los estribos de concreto tal como se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 24: Grietas por inclusión de arco en estribo.

Detectada esta anomalía, fue necesario contratar un topógrafo con el fin de hacer seguimiento al puente, sin que se notara la variación, el puente se estaba moviendo según las cotas que se tenían cuando se realizó la entrega, a continuación, se expone lo entregado por el contratista al Fondo Adaptación entidad encargada de recibir el proyecto:

8.2.2.4. Primera visita por grietas estribo aguas arriba

8.2.2.4.1. Según topografía se obtuvieron las siguientes coordenadas:

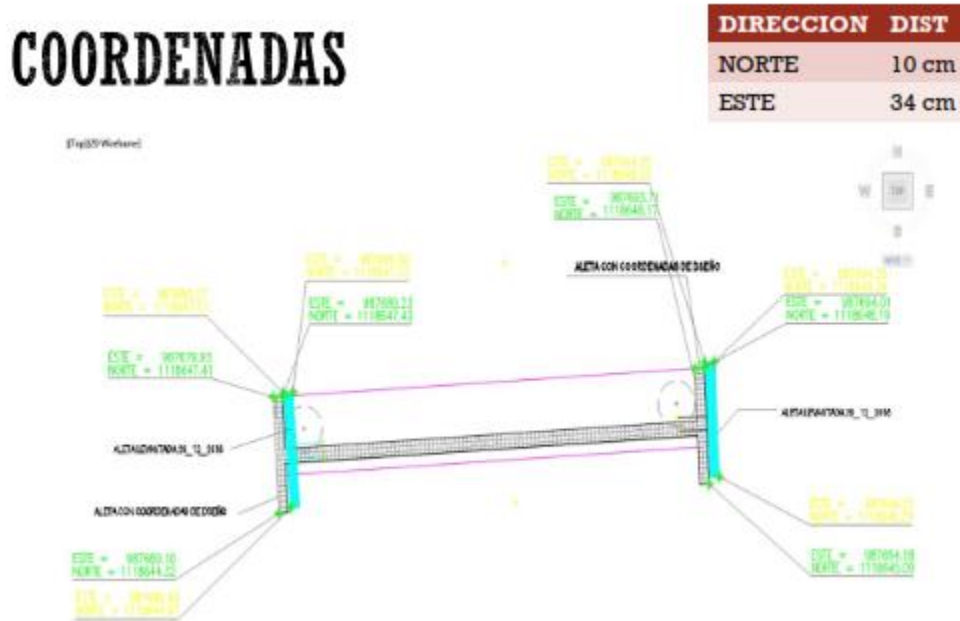


Ilustración 25: Topografía primera visita

Corresponde a un movimiento notorio, pero no significativo ya que esto podría implicar una acomodación del puente en su posición final.

8.2.2.5. Durante la segunda visita:



▪ Enero 12 de 2017

▪ Aguas arriba



Ilustración 26: Grietas segunda visita



▪ Aguas abajo

▪ Enero 12 de 2017

Ilustración 27: Inclusión del arco en el estribo, costado aguas abajo y parte interna del estribo afectado.

8.2.2.6. Tercera visita al puente:

Para esta visita se pudo notar que unos metros antes del acceso al puente la banca se estaba desbordando hacia aguas abajo, es decir se identificó un deslizamiento tal como se ve en la Ilustración 28.



▪ Enero 22 de 2017

Ilustración 28: Movimiento del terreno por deslizamiento en banca

Para el lanzamiento del puente, se fabricaron dos caisson a fin de poder apoyar el puente mientras se lanzaba, estos dados cuando se culminó el proyecto estaban por fuera de la línea del arco del puente, y como se ve en la Ilustración 29 el dado

ya se encuentra casi saliendo del puente, otro indicio del fenómeno de remoción en masa que estaba ocurriendo.




• Enero 22 de 2017 

Ilustración 29: Movimiento notorio en la posición del dado provisional para el lanzamiento

La fisura bajo el puente se va pronunciando más con los días, el puente para estos días empieza a expulsar unos sonidos semejantes al de rompimiento del acero.




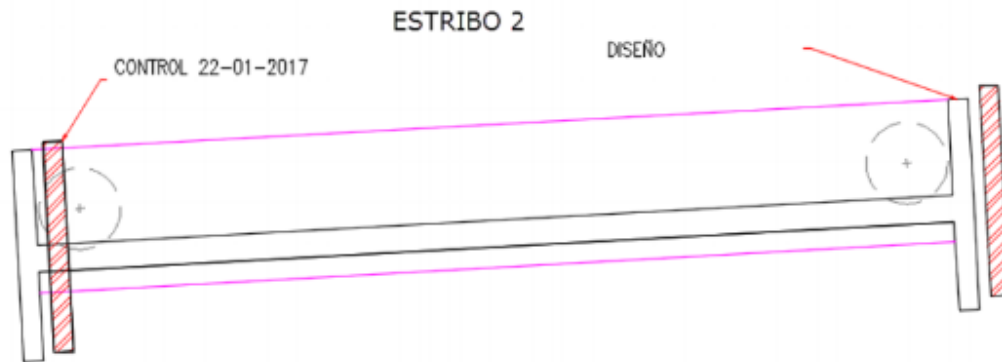
• Enero 22 de 2017 

Ilustración 30: Fisura bajo el puente

DIRECCION	DIST
NORTE	5 mm
ESTE	9 mm



• Enero 22 de 2017

Ilustración 31: coordenadas para la tercera visita

Ratificando la teoría de la remoción en masa, se puede ver que aparentemente el puente está sufriendo una rotación.

8.2.2.7. Cuarta visita



• Febrero 17 de 2017

Ilustración 32: Rompimiento de pernos en el apoyo móvil y aumento de la fisura

Del costado Otanche, se ubica el apoyo móvil del puente, revisando esos apoyos se notó que los pernos que sostienen los rodillos se rompieron, por lo cual se concluye ese mismo movimiento aparentemente en rotación, es decir que el puente puede estar girando sobre el apoyo fijo (costado Puerto Boyacá)

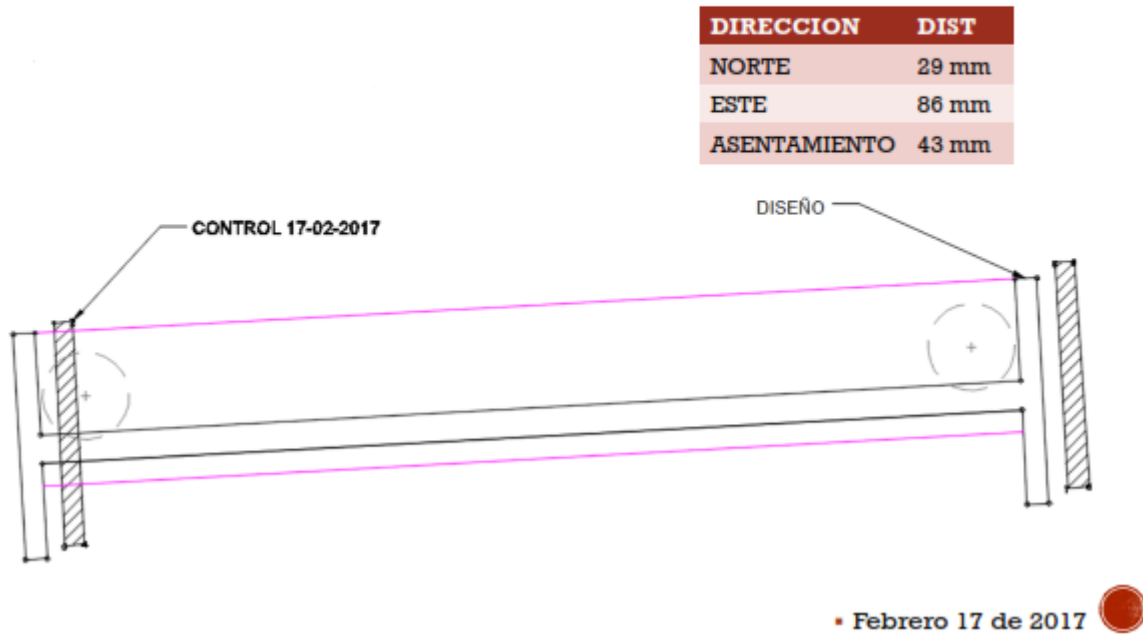


Ilustración 33: Topografía para cuarta visita

8.2.2.8. Quinta visita

Para la quinta visita se puede ver que ya la estructura del puente estaba totalmente incluida en el estribo, continuando con la inclinación en dirección aguas abajo.



Ilustración 34: Quinta visita arco desplazado aguas abajo e incluido en el estribo



▪ Abril 04 de 2017



Ilustración 35: Apoyo fijo costado Puerto Boyacá

Del costado Puerto Boyacá, se puede ver pandeo en los elementos del costado aguas abajo, por lo cual se afirma la teoría de la rotación, es decir que el puente se está moviendo solamente del lado Otanche, del lado Puerto Boyacá esta fijo, teniendo en cuenta que el puente trabaja como un solo elemento, al girar del costado Otanche, evidentemente el costado Puerto Boyacá también tiene deterioro.

8.2.2.9. Sexta visita

En la sexta visita se notó que el acceso al puente se estaba viendo cada vez más afectado:

En la Ilustración 36 se puede ver como se ha desbordado la banca de la vía, dificultando incluso el paso peatonal.



▪ Mayo 21 de 2017



Ilustración 36: Acceso costado Otanche

En la Ilustración 37 se puede ver que el terreno esta aprisionando el puente, es decir que el puente está sosteniendo el terreno, el puente en este momento está sufriendo por compresión por lo cual se debe pensar en una solución eficiente para poder salvar la estructura.



• Mayo 21 de 2017



Ilustración 37: Notoria compresión del terreno al puente y aumento de la fisura

8.2.2.10. Séptima visita

Durante la séptima visita se vio que el puente en su estructura metálica, ya estaba sufriendo deformaciones las vigas I, estaban sufriendo un fenómeno de rasgado tal como se muestra en la Ilustración 38.



• Mayo 24 de 2017



Ilustración 38: Vigas rasgadas

Para antes de esta visita se estudió el caso y se tomó la determinación de liberar el puente, lo cual consistía en remover todo el terreno que le estaba haciendo compresión en el costado Otanche, y con esto se podría determinar en qué estado estaba la cimentación se podría determinar si el movimiento fue superficial o profundo. El contratista se ofreció a realizar esta liberación, por lo cual se trasladaron dos retroexcavadoras, quienes realizaron este trabajo en dos días

- Colaboración con maquinaria para adecuación de vía provisional, por solicitud del alcalde.



▪ Mayo 25 de 2017



Ilustración 39: Inicio de liberación del Puente



▪ Mayo 26 de 2017



Ilustración 40: Terreno sobre el puente

En el costado Puerto Boyacá, se puede ver que en el estribo aguas arriba, en la Ilustración 41: Costado Puerto Boyacá imagen a, no ha sufrido deterioro en su exterior,

esto debido a que el puente está rotando hacia el lado izquierdo, es decir que el estribo con el arco del puente debería estar paralelos y ya se ve un ángulo pronunciado. En la Ilustración 41: Costado Puerto Boyacá, imagen b se puede ver que por su rotación se está incluyendo dentro del estribo, y la imagen c de esta misma ilustración es el dado provisional para el lanzamiento del puente el cual está ubicado del costado Otanche, viendo que este dado ya se encuentra desplazado.



• Mayo 26 de 2017



Ilustración 41: Costado Puerto Boyacá

Se realizó la extracción de todo el material que estaba afectando el puente a compresión.



• Mayo 26 de 2017



Ilustración 42: Liberación del puente

Según esta ilustración se puede determinar que el movimiento fue profundo, ya que se movió todo el elemento, determinando que la cimentación se encuentra en buen estado.



Ilustración 43: Funcionamiento de la cimentación



Ilustración 44: Pandeo en rigidizadores

En la Ilustración 45 se puede ver que el apoyo ya se encuentra fuera de la estructura del puente, en este punto el puente lo está sosteniendo la cimentación, ya que este costado del arco está apoyado sobre la cimentación.



• Mayo 26 de 2017



Ilustración 45: Apoyo patín



• Mayo 28 de 2017



Ilustración 46: Inspección estructura metálica

Se realizó una inspección de la estructura metálica con el fin de revisar las soldaduras, las cuales como se puede ver en la Ilustración 46 se encuentra en buen estado, no ha sufrido rotura. Aunque en la Ilustración 47 se puede ver que la viga transversal esta rasgada, este es costado Otanche – aguas abajo.



▪ Mayo 28 de 2017



Ilustración 47: Sufrimiento en vigas transversales

8.2.2.11. Comparaciones

De las imágenes analizadas anteriormente, se realizó una comparación para ver la evolución del deslizamiento:



ENERO 22



MAYO 21



MAYO 24



Ilustración 48: Comparaciones del acceso al puente



ANTES



DESPÚES



Ilustración 49: Imagen tomada con Dron en la entrega del puente y después de la afectación



ANTES



DESPÚES



Ilustración 50: Batea antes y después



ANTES



DESPÚES

APOYO FIJO



Ilustración 51: Costado Puerto Boyacá, apoyo fijo



Ilustración 52: Costado Puerto Boyacá - aguas arriba, se puede hacer la proyección del único estribo que quedo en su lugar y se ve todo lo que se desplazó el puente



Ilustración 53: Apoyo móvil costado Otanche, considerado el lado crítico

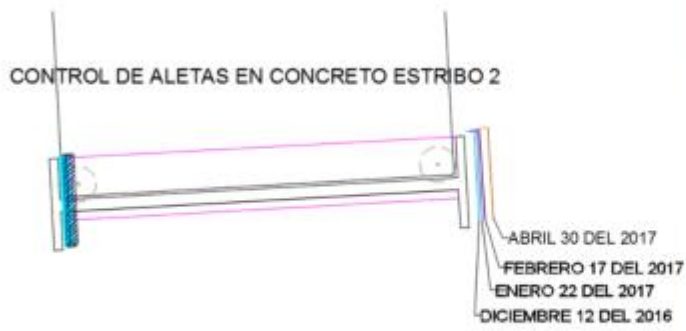
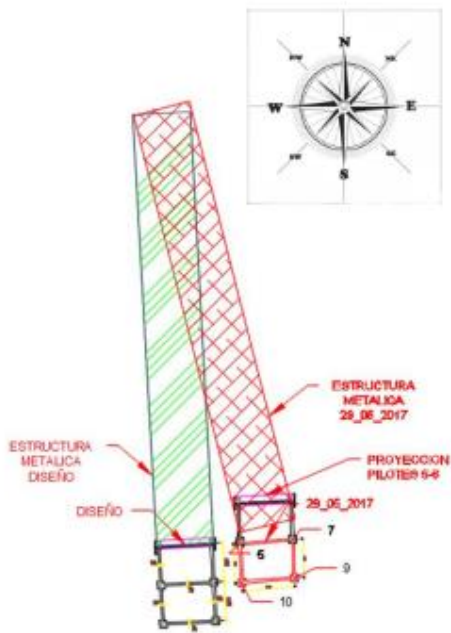


Ilustración 54: Resumen topografía



DIRECCION	DIC / 2016	ENE / 2017	FEB / 2017	ARR / 2017	MAY / 2017
NORTE	0,10 m	0,006 m	0,029 m	0,30 m	3,5 m
ESTE	0,34 m	0,009 m	0,086 m	0,83 m	19,36 m
ASENTAMIENTO	0	0	0,043 m	0,19 m	4,77 m
TEMBORES	2 / 4,5 Sabana de Torres Y 4,6 Los Santos	2 / 4,8 Los Santos Y 4,1 Simacota	0	6 / 3,7-3,5- 3,6-4,3-4,4- 3,6	5 / 4-2,2- 3,1-3,8-4,5



Ilustración 55: resumen topografía

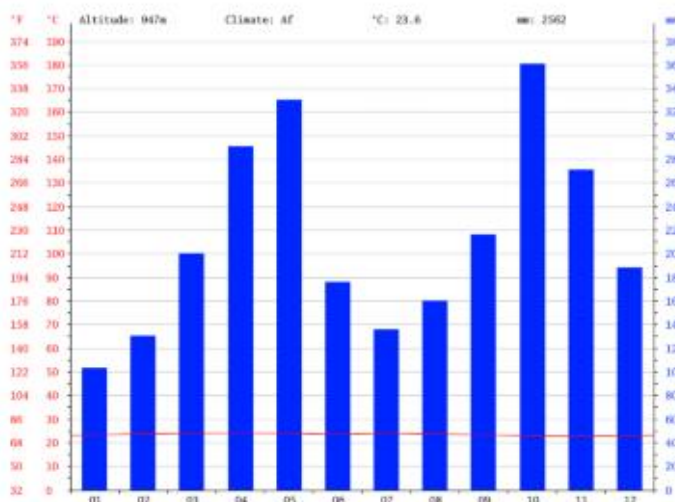


Ilustración 56: Precipitación

8.2.2.12. Estudio de la solución

- Objetivo General

Lograr poner en funcionamiento la vía Otanche – dos y medio, mediante el soporte y nivelación del puente, para posterior corrección en su ubicación.

8.2.2.12.1. Objetivos Específicos

Lograr asegurar el Puente de tal forma que este quede soportado en el Estribo 1 correspondiente al costado Dos y Medio.

Sustentar el puente, mediante la construcción de elementos portantes los cuales tengan la capacidad de soportar el peso total de la estructura.

Recuperar el nivel inicial de construcción.

Traslado del puente a su coordenada origen de funcionamiento.

8.2.2.12.2. ETAPA 1.

Mediante diseños según lo establecido actualmente en obra, es posible llegar a asegurar el puente mediante ménsulas y una traba para de esta manera lograr retener el puente en su sitio original. Luego mediante elementos en concreto y metálicos, se logrará establecer un soporte en el lecho de la Quebrada para así conseguir soportar el puente. Mediante sistemas hidráulicos se llevará el puente a su inclinación de construcción, correspondiente a 3%.

8.2.2.12.3. ETAPA 2.

Luego de tener el puente en su nivel, se procede a construir un elemento mediante el cual se pretende correrlo con el fin de ponerlo en su lugar original, es decir, se correrían los 19 metros (aguas arriba)

8.2.2.12.4. Solución Inmediata

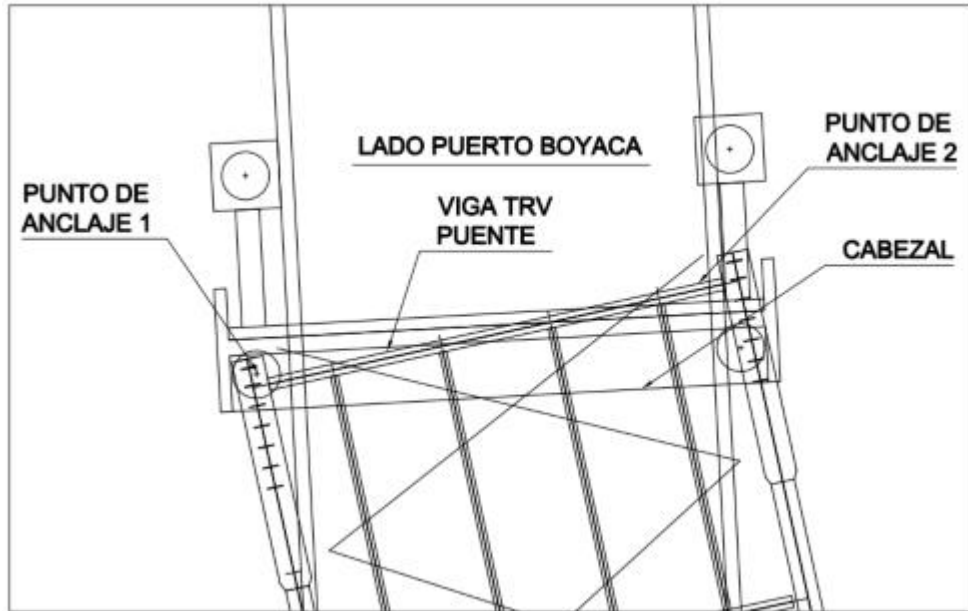


Ilustración 57: Solución Inmediata.

8.2.2.12.5. Sustentar el Puente

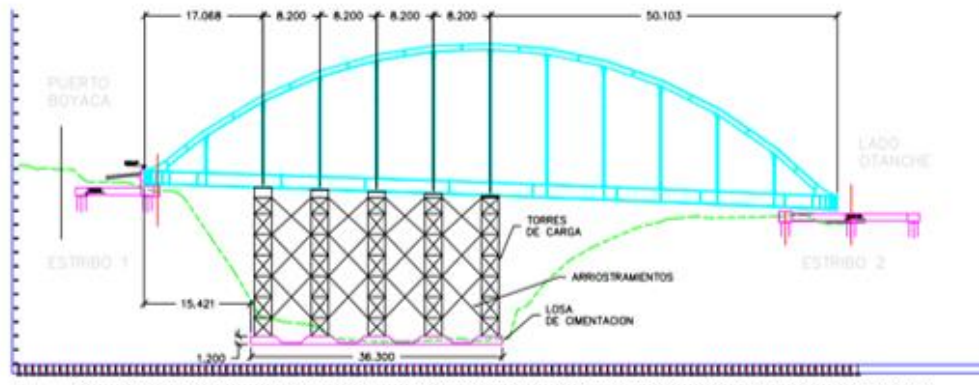


Ilustración 58: Sustentar puente.

8.2.2.12.6. Presupuesto para salvar estructura

ETAPA 1.

CIMENTACIÓN

ACTIVIDAD	UND	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
Concreto Clase C (28MPa) Placa fundación (acelerado)	m3	\$ 858.395,35	1.019	\$ 874.704.859,33
Acero de refuerzo fy=420 Mpa	Kg	\$ 3.596,17	54.000	\$ 194.193.204,55
Transporte	m3-Km	\$ 804,40	76.246	\$ 61.331.935,83
Excavaciones varias en material común bajo agua	m3	\$ 20.633,50	3.000	\$ 61.900.506,82
TOTAL				\$ 1.192.130.506,53

CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURA METÁLICA

ACTIVIDAD	UND	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
Calculo y Diseño	Gbl	\$ 50.000.000,00	1	\$ 50.000.000
Fabricación estructura metálica	Kg	\$ 7.331,47	162.082	\$ 1.188.298.657
Montaje estructura metálica	Kg	\$ 1.732,74	162.082	\$ 280.845.744
Transporte Estructura Metálica	Kg	\$ 837,28	162.082	\$ 135.707.943
TOTAL				\$ 1.654.852.344

HIDRAULICA

ACTIVIDAD	UND	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
Hidraulica de Sustentación	Gbl	\$ 14.400.000,00	10,00	\$ 144.000.000
TOTAL				\$ 144.000.000

TOTAL OBRA ETAPA 1.	\$	2.990.982.851
ADMINISTRACION (24%)	\$	717.835.884
IMPREVISTO (3%)	\$	89.729.486
UTILIDAD (5%)	\$	149.549.143
IVA (19% sobre Utilidad)	\$	28.414.337
TOTAL ETAPA 1.	\$	3.976.511.700

ETAPA 2.

DESPLAZAMIENTO A ORIGEN

ACTIVIDAD	UND	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
Fabricación estructura metálica	Kg	\$ 7.331,47	96.861	\$ 710.133.119
Montaje estructura metálica	Kg	\$ 1.732,74	96.861	\$ 167.834.797
Transporte Estructura Metálica	Kg	\$ 837,28	96.861	\$ 81.099.734
TOTAL				\$ 959.067.650,53

TOTAL OBRA ETAPA 2.	\$	959.067.651
ADMINISTRACION (24%)	\$	230.176.236
IMPREVISTO (3%)	\$	28.772.030
UTILIDAD (5%)	\$	47.953.383
IVA (19% sobre Utilidad)	\$	9.111.143
TOTAL ETAPA 2.	\$	1.275.080.441

Tabla 11: Presupuesto para salvar la estructura.

La anterior fue la cotización enviada por parte de la Unión Temporal Juanchito.

8.2.2.13. Concepto Fondo Adaptación

Luego de presentada la propuesta de la Unión Temporal Juanchito, el Fondo Adaptación expidió una invitación cerrada cuyo objeto es ADELANTAR LAS ACTIVIDADES NECESARIAS PARA ATENDER LA EMERGENCIA ORIGINADA EN EL PUENTE VEHICULAR QUEBRADA BLANCA EN LA VÍA DOS Y MEDIO – OTANCHE – CHIQUINQUIRÁ EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ de esta manera dentro de los pliegos estipulan los siguientes antecedentes numeral 2.1:

“Como consecuencia de la ola invernal que tuvo lugar en Colombia en el año 2010 y primer semestre del 2011, evento denominado Fenómeno de La Niña, el Gobierno Nacional declaró la situación de desastre en el territorio colombiano, mediante el Decreto 4579 de 2010. Así mismo, a través del Decreto 4580 de 2010, declaró el estado de emergencia económica, social y ecológica por razón de grave calamidad pública. Una vez declarado el estado de emergencia, de acuerdo con el artículo 215 de la Constitución Política, el presidente, con la firma de todos los ministros, dictó decretos con fuerza de ley destinados exclusivamente a conjurar la crisis y a impedir la extensión de sus efectos.

Dentro de los decretos expedidos, se encuentra el Decreto 4819 del 29 de diciembre de 2010, mediante el cual se creó el FONDO ADAPTACIÓN, en adelante EL FONDO, cuyo objeto es la recuperación, construcción y reconstrucción de las zonas afectadas por el Fenómeno de "La Niña" 2010-2011. Dicha entidad cuenta con personería jurídica, autonomía presupuestal y financiera y está adscrita al Ministerio de Hacienda y Crédito Público. El FONDO tiene como finalidad: (i) la identificación, estructuración y gestión de proyectos; (ii) la ejecución de procesos contractuales; (iii) la disposición y transferencia de recursos para la recuperación, construcción y reconstrucción de la infraestructura de transporte, de telecomunicaciones, de ambiente, de agricultura, de servicios públicos, de vivienda, de educación, de salud, de acueductos y alcantarillados, humedales, zonas inundables estratégicas, rehabilitación económica de sectores agrícolas, ganaderos y pecuarios afectados por la ola invernal; y (iv) demás acciones que se requieran con ocasión del Fenómeno de "La Niña", así como para impedir definitivamente la prolongación de sus efectos, tendientes a la mitigación y prevención de riesgos y a la protección, en

lo sucesivo, de la población de las amenazas económicas, sociales y ambientales que se han presentado.

El puente vehicular Quebrada Blanca localizado en la vía Dos y medio – Otanche – Chiquinquirá, (PR 93 + 200) localizado en el departamento de Boyacá, fue postulado mediante Ficha de Validación de Información – Proyectos Sitios Críticos – FA, de la Dirección de Infraestructura del Ministerio de Transporte, con fecha 08 de febrero de 2012. En este sector se ha generado un movimiento de remoción en masa, que ha desestabilizado alrededor de 200 m. de banca involucrando el estribo derecho del puente.

El pasado 19 de mayo de 2017, en la parte alta de la Quebrada Agua Blanca, en el municipio de Otanche, se presentaron deslizamientos asociados a fuertes lluvias que destruyeron más de 200 metros de la vía nacional, un paso provisional existente por la quebrada y que afectaron la estabilidad del puente de 100 metros de longitud.

El área afectada por varios movimientos en masa, interrelacionados entre sí, involucra cerca de 150.000 metros cuadrados de los cuales el puente sólo ocupa 1.100 metros cuadrados.

El puente ha estado soportando el empuje de los movimientos en masa en el lado de Otanche, sufriendo varias afectaciones que lo ubican en una situación de posible colapso. Se han implementado medidas de emergencia que implicaron el cierre del puente y la vía, activando el Sistema de Riesgos y la evacuación de las familias.

El 22 de mayo de 2017 se declaró el estado de urgencia manifiesta en el municipio de Otanche, departamento de Boyacá, mediante Decreto No.023 de 2017, “Que por la fuerte temporada de lluvias en el municipio de Otanche, se presentó un movimiento de masa en el sector Agua Blanca, sobre la vía que conduce desde el casco urbano del municipio de Otanche al municipio de Puerto Boyacá, desde el PR 93 + 160 al PR 93 +800, dejando totalmente incomunicada la mayor parte de los habitantes del sector rural del municipio de Otanche.

El citado Decreto resolvió en su artículo primero lo siguiente: “Declarar el estado de urgencia manifiesta en el municipio de Otanche, Boyacá, para el control de riesgos de remoción en masa, riesgos ambientales y preparativos para el control de

emergencias, atención a los damnificados y población en riesgo, causados por la afectación de la vía que conduce del Casco urbano de Otanche al municipio de Puerto Boyacá.

El concepto por parte del Geólogo José Edier Ballesteros Herrera, establece por lo anterior se recomienda desmontar la superestructura existente en la actualidad, para su aprovechamiento en otro sitio”. (Fondo Adaptación, 2017)

Luego este contrato fue adjudicado a Ingeniería de Vías por un valor de \$ 3.196´016.760 de pesos, contrato expedido por el Fondo Adaptación.

Además, también fue adjudicada la interventoría para este desmontaje a Estudios Técnicos y Asesorías S.A por un valor de \$ 233.999.686 de pesos.

8.2.2.14. Análisis Económico

Teniendo en cuenta los valores que se han invertido y el detrimento patrimonial que este efecto dejó, estos fueron los valores invertidos en este proyecto:

OBJETO	ENCARGADO	VALOR
Interventoría para la construcción del Puente Quebrada Agua Blanca en la Otanche - Boyacá	CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS	\$ 50.299.400,00
Estudios previos para la construcción del Puente Quebrada Blanca en Otanche - Boyacá	ITALCOL	\$ 502.994.000,00
Interventoría integral para la construcción del puente vehicular "quebrada blanca", ubicado en la vía Dos y Medio - Otanche, en el departamento de Boyacá	HMV INGENIEROS	\$ 1.287.345.146,00
Construcción del puente vehicular "Quebrada Blanca", ubicado en la vía Dos y Medio - Otanche, en el departamento de Boyacá.	UNION TEMPORAL JUANCHITO	\$ 9.467.384.649,00
Por parte de la Union Temporal, bajo nuestros costos y sin remuneracion alguna, decidimos ofrecer nuestra maquinaria para realizar la liberacion del puente con el fin de liberar fuerzas que los estaban afectando a compresion y la cual estaba haciendo rotar la estructura sobre el eje 1, costado fijo.	UNION TEMPORAL JUANCHITO	\$ 70.000.000,00
Se contrataron los especialistas en Geotecnia y Especialista Estructural con el fin de solicitar un concepto del estado actual del puente y sus alrededores	UNION TEMPORAL JUANCHITO	\$ 25.000.000,00
Contrato 215 de 2017. Interventoría integral para adelantar las actividades necesarias para atender la emergencia originada en el puente vehicular quebrada blanca en la vía dos y medio – Otanche – Chiquinquirá en el departamento de Boyacá	ESTUDIOS TECNICOS Y ASESORCIAS S.A. ETA S.A.	\$ 233.999.686,00
Contrato Glabal con el Fondo Adaptacion para consultoria de todos los proyectos	BATEMAN	\$ 8.000.000,00
Invitacion Cerrada 020-2017. Adelantar las actividades necesarias para atender la emergencia originada en el puente vehicular quebrada blanca en la vía dos y medio – Otanche – Chiquinquirá en el departamento de Boyacá.	INGENIERIA DE VIAS	\$ 3.196.016.760,00
	TOTAL	\$ 14.841.039.641,00

Tabla 12: Análisis económico. Puente Quebrada Blanca

Los gastos aproximados para toda la ejecución de este proyecto fueron de 14.841'039.641 pesos de los cuales lo que se puede recuperar es la estructura

metálica, teniendo en cuenta que esta requiere de ensayos detallados con el fin de identificar su estado, se puede dar un dato estimado del costo de este material, pero este está ligado a los ensayos que se requieren y evidentemente al proyecto donde se vaya a instalar. Lo que físicamente se puede recuperar corresponde a la estructura metálica la cual hace referencia al ítem de fabricación de la estructura metálica, la cual incluye suministro por un valor de \$ 3.773'033.960 pesos sin tener en cuenta que algunas secciones fueron afectadas y las cuales requieren o reemplazarlas o reestructurarlas.

8.2.2.14.1. Costo por etapas



Gráfica 12: Costos por Etapas. Puente Agua Blanca

Según este análisis, se evidencia que la etapa de construcción es ciertamente la más costosa esto debido a la mano de obra y su gran valor en materiales, mientras que para el desmontaje consiste en un análisis detallado proseguido de la mano de obra.

8.2.2.14.2. Tránsito Promedio diario

El Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en el año 2016 realizó el estudio del TPD para la mayoría de las vías del país, para este caso se toma la vía de Otanche – Curibitos:

ESTAC. No.	PR DE LA ESTACIÓN	SECTOR	CODIGO VIA	LONGITUD (KM)
112	44+0280	OTANCHE - CURIBITOS	6007	74

2012			2013			2014			2015			2016		
428			628			556			564			866		
64%	9%	27%	55%	4%	41%	63%	7%	30%	69%	10%	21%	77%	7%	16%
auto	bus	camion	auto	bus	camion	auto	bus	camion	auto	bus	camion	auto	bus	camion

Tabla 13: Tránsito promedio diario Otanche – Curubitos (INVIAS, 2012)

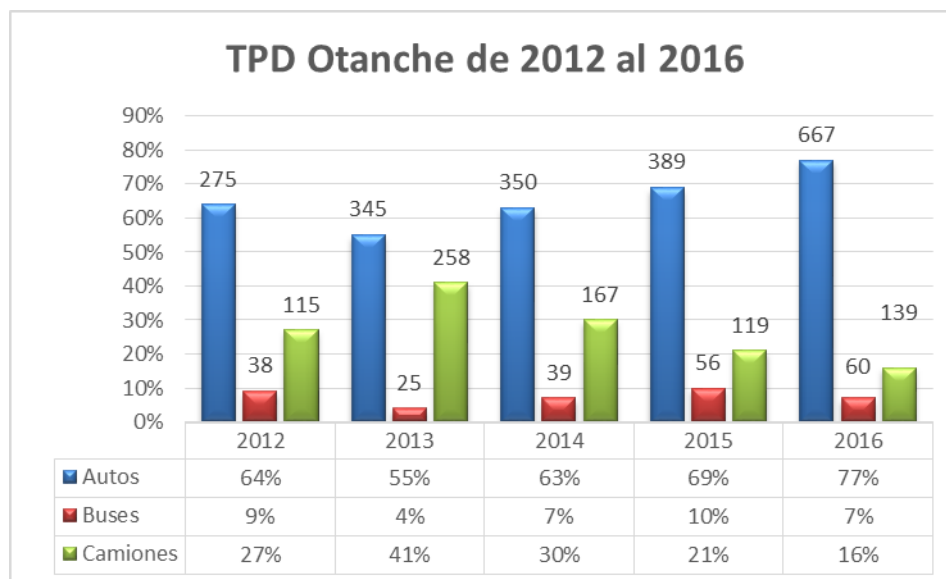
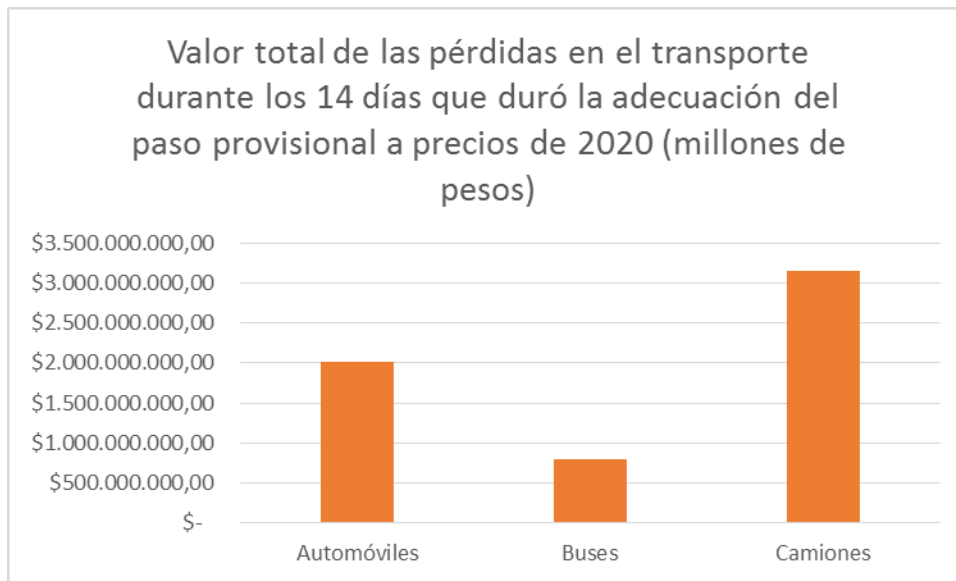


Tabla 14: Tránsito promedio diario en Otanche en los últimos años

Teniendo en cuenta el tránsito promedio diario en Otanche y realizando la proyección del precio estipulado según el Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

Tipo de Vehículo	TPD para el año 1996 (número de vehículos)	Distancia Otanche - Los Curubitos (Km)	\$/Km a precios de 2020 (pesos)	Valor de las pérdidas diarias en el transporte a precios de 2020 (millones de pesos)	Valor total de las pérdidas en el transporte durante los 14 días que duró la adecuación del paso provisional a precios de 2020 (millones de pesos)
Automóviles	667	108	\$ 1.780,98	\$ 144.152.169,41	\$ 2.018.130.371,82
Buses	69	108	\$ 7.739,59	\$ 56.351.339,48	\$ 788.918.752,71
Camiones	139	108	\$15.008,34	\$ 225.305.302,27	\$ 3.154.274.231,82
Total				\$ 425.808.811,15	\$ 5.961.323.356,34

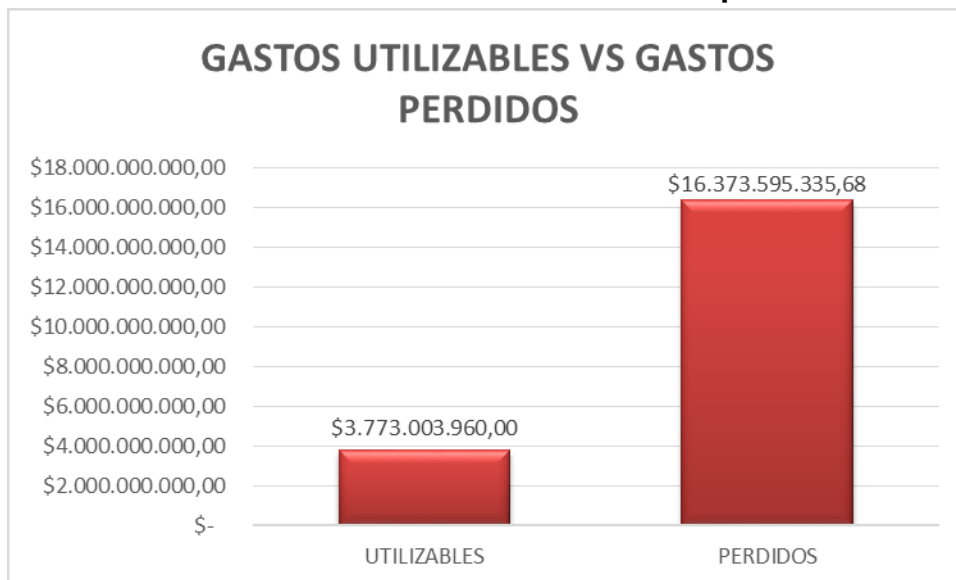
Tabla 15: Valores teniendo en cuenta el tránsito promedio diario.



Gráfica 13: Pérdidas por TPD datos tomados de Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

Es importante mencionar que esta vía es de vital importancia para el transporte del carbón y del acero entre el norte de Cundinamarca y el departamento de Boyacá. A su vez, comunicará la Troncal del Magdalena Medio con los llanos orientales, generando así una interconexión entre la Orinoquía y el Río Magdalena. (INVIAS, 2012)

8.2.2.14.3. Gastos utilizables vs Gastos perdidos



Gráfica 14: Gastos utilizables vs gastos perdidos.

8.2.2.15. Conclusiones caso de estudio

Como conclusión a este caso de estudio, es evidente la pérdida de este dinero, y por consiguiente se espera que las entidades afectadas estén buscando soluciones para poder mitigar estos accidentes atribuidos a la naturaleza, en este caso el Invias y el Fondo Adaptación quieren buscar el culpable, teniendo en cuenta que el proyecto se ejecutó bajo todas las normativas estipuladas en el contrato, es decir todo se realizó en común acuerdo con la interventoría finalizando el trabajo con éxito, desafortunado fue el proyecto en que la naturaleza falló en este sector y fue afectado por un deslizamiento gigantesco. Pero es en este momento donde puede funcionar la implementación del monitoreo en tiempo real, ya que se hubiese detectado a tiempo este movimiento, fue solo varios días después y luego de mediciones topográficas que fue detectado el movimiento, el puente tuvo un movimiento total de 19 metros aguas abajo, afectando el sector, dañando viviendas y afectando el tránsito.

En este caso la mitigación con la instrumentación hubiera sido construir una vía provisional a fin de no interrumpir el tráfico lo cual conlleva a las pérdidas económicas como se estudió anteriormente.

9. EXISTENCIA DE METODOS PARA MITIGAR DAÑOS DE PUENTES VEHICULARES NACIONALES E INTERNACIONALES.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se evidencia la necesidad de implementar algún mecanismo funcional para la detección temprana de fallas en estas estructuras, para lo cual es importante encontrar los intentos que se han hecho en Colombia con el fin de mitigar esta falencia, de esta forma se inicia con la exposición del Puente Honda, dentro del cual se implantó monitoreo durante la obra y después de la obra.

9.1. Monitoreo de puentes vehiculares SAP-IDU (Doctor José Enrique García) (Nacional)

“El Sistema de Administración de Puentes (SAP) se constituye en una nueva herramienta vital para el mantenimiento de puentes, orientada a reducir al máximo

la subjetividad de la proyección del mantenimiento de los puentes de la ciudad mediante la aplicación de un desarrollo tecnológico que permitirá adelantar el monitoreo (acelerómetros) en tiempo real y obtener un registro del efecto del paso de los vehículos por las estructuras, para establecer qué fallas presentan y así priorizar su mantenimiento.

El Plan de Administración de Puentes y la instalación de acelerómetros hacen parte de la política de mantenimiento de la infraestructura vial y de espacio público en la cual está empeñada este gobierno (Alcalde Antanas Mockus Sivickas) y que permitirá dotar a la ciudad de inventarios detallados, diagnósticos actualizados, esquemas de seguimiento y monitoreo e intervención oportuna”. (IDU, 2004)

“Más de cuarenta puentes ya han sido revisados.

Agencia de Noticias UN - Una sencilla caja metálica, que contiene una batería, un acelerómetro y una tarjeta electrónica; le ha permitido a Bogotá ahorrar hasta cuatro mil millones de pesos que se gastarían en la construcción de nuevos puentes, gracias a la detección temprana de las fallas estructurales que podrían afectar la construcción.

Esta es una de las ventajas que ofrece el dispositivo ideado por el Grupo de Física Aplicada del Centro Internacional de Física (CIF) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

El proyecto, realizado con la dirección del profesor José Enrique García, fue implementado con la construcción de un equipo capaz de determinar el comportamiento dinámico de los puentes. Como anota García, el dispositivo mide la cantidad de oscilaciones que soportan los puentes y edificios, producidas por el peso de autos y transeúntes. Estos datos son enviados a una central de procesamiento instalada en el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).

Los principios físicos que permiten determinar 'la salud' del puente son la aceleración, la frecuencia y la deformación de la estructura. El dispositivo mide las oscilaciones producidas por el movimiento de las estructuras de concreto y cuando se presenta mayor frecuencia de ellas, (de las oscilaciones), el software del IDU las compara con su registro histórico e identifica el cambio en los picos máximos de

aceleración del puente, es entonces cuando queda claro que la estructura está padeciendo cambios muy bruscos e inesperados.

Hasta el momento han sido monitoreadas más de 40 estructuras. Los puentes más 'vigilados' son los de la Avenida de las Américas y la Avenida Ciudad de Quito o NQS.” (MINISTERIO DE EDUCACIÓN, 2007).

Teniendo en cuenta este proyecto, el centro de este estudio e implementación radica en Bogotá por el IDU (Instituto de Desarrollo Urbano) quienes realizaron la implementación a estos puentes mediante el contrato 212 de 2002, el Centro Internacional de Física – CIF, cuyo contrato inició el 16 de Julio de 2002 y finalizó el 3 de Marzo de 2003 con un plazo de siete meses de ejecución por un valor de \$ 935'290.608 pesos a 2003, equivalentes a \$ 2.501.065.685,70 pesos en 2020, tuvo funcionamiento, pero en la actualidad su ejercicio no fue exitoso, fue evidente la instalación y por consiguiente el funcionamiento pero no hay claridad de cuánto tiempo duro en funcionamiento y por qué al día de hoy esta tecnología se encuentra sin información.

Para lograr esclarecer un poco el proyecto que se desarrolló en Bogotá con la instrumentación de puentes, fue necesario acudir al Instituto de Desarrollo Urbano y así lograr la consecución de la información correspondiente a los contratos IDU-212-2002, IDU-123-2017 y el IDU-CM-SGT-012-2007, según este último contrato: (Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, 2002), afirma que la infraestructura de los puentes, vehiculares y peatonales, de la ciudad de Bogotá está conformada por más de 300 estructuras sometidas a la acción de las cargas normales de servicio como lo son el tráfico y el medio ambiente, sin olvidar la amenaza sísmica propia de nuestra región. Para lograr la administración de esta infraestructura la Entidad realizó un cambio en la filosofía de mantenimiento generando una serie de procesos y procedimientos sistematizados con el fin de aumentar el número de soluciones a los requerimientos de inspección y mantenimiento de puentes, con una reducción notoria en el tiempo para cada uno de ellos dando inicio al sistema de Administración de Puentes (SAP) del IDU.

En 1999 a través de la orden de servicios OS-2300-407-1999 celebrada con el Centro Internacional de Física CIF adscrito a la Universidad Nacional de Colombia

se verificó la aplicación de un dispositivo de medición en tiempo real de las aceleraciones a las que están sometidos los puentes ante cargas de servicio realizando comparaciones con las concepciones teóricas de los diseños iniciales y se abrió la puerta a la implementación de estos aparatos compuestos por micro máquinas desarrollados con tecnología netamente Colombiana en el SAP. EL beneficio fundamental es que permitió auscultar en primera instancia, las características dinámicas de dos sistemas estructurales diferentes (a manera de comparación) y amplió el concepto de aplicación del monitoreo como sistema de mantenimiento sostenido a lo largo del tiempo. Este aspecto define un horizonte de investigación para el desarrollo del comportamiento y desempeño estructural.

Basados en la anterior experiencia, el Instituto de Desarrollo Urbano suscribió el contrato IDU-212-2002 con el Centro Internacional de Física (CIF), cuyo objeto fue desarrollar e implementar un programa de Instrumentación de las estructuras de los puentes en la ciudad en aras de optimizar los procesos de mantenimiento de los puentes de la ciudad de Bogotá basándose en mediciones reales y en tiempo real a bajos costos dentro del Sistema de Administración de Puentes (SAP), permitiendo la obtención de información a lo largo del tiempo que podrá definir conceptos de diseño, construcción y mantenimiento de puentes urbanos por medio de una Reglamentación. Mediante el mencionado contrato se adquirieron, se instalaron y se operaron setenta y dos (72) acelerógrafos instalados en treinta y cuatro (34) puentes vehiculares. Se contó con 72 instrumentos instalados en 36 puentes vehiculares y adicionalmente, se instrumentaron 20 puentes peatonales, cada uno con un acelerógrafo.

“Cada equipo de monitoreo está compuesto por un acelerómetro y cinco módulos electrónicos utilizando como variable de medida la aceleración en dos ejes con una frecuencia de muestreo que va desde 19.07 Hz a 152,6 Hz. EL ACELERÓMETRO mide en dos ejes, posee una resolución de 2 mili gravedades (0,002 g) a una tasa de muestreo de 60 Hz, y puede soportar choques de hasta 1000 g.

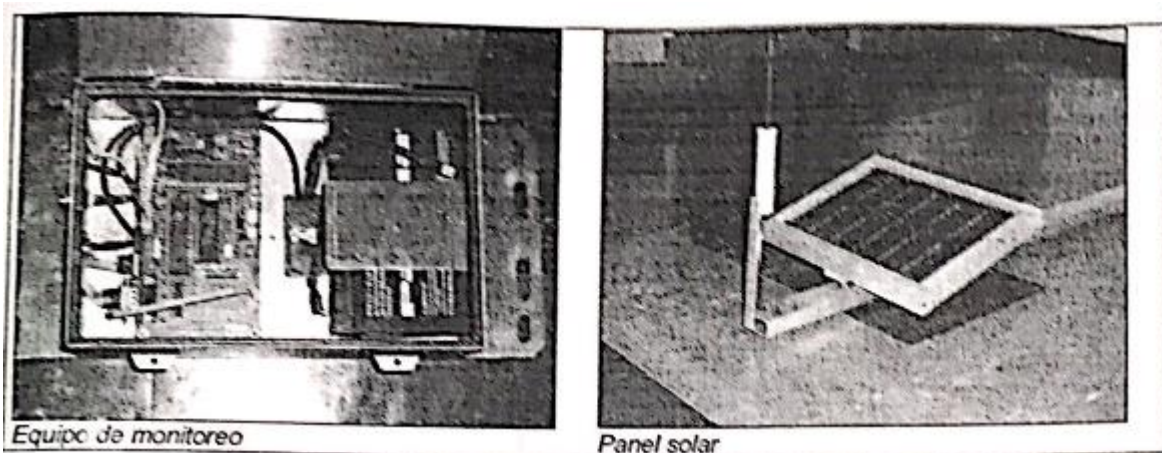


Ilustración 59: Caja de equipo de monitoreo y panel solar. (IDU, 2004)

El módulo de COMUNICACIONES está compuesto por un modem celular con tecnología CDPD y dos antenas de diseño propio del CIF de alta potencia. Este módulo permite la comunicación entre el equipo remoto instalado en un puente y el equipo maestro instalado en el IDU. El módulo de LECTURA ANÁLOGA permite efectuar dos mediciones análogas para efectuar control sobre el sistema mismo, se puede efectuar lecturas de temperatura y voltaje de la batería. El módulo de POTENCIA permite la alimentación de energía al sistema, inicialmente concebido para que el sistema fuera autónomo incluyendo un panel solar y posteriormente acondicionado para alimentación a partir del alumbrado público debido a problemas de vandalismo.

El módulo RTC (Real Time Clock) cumple la función de proporcionar el registro en tiempo real de los eventos, queda por mencionar el módulo DE CÁLCULO, SINCRONIZACIÓN Y MANTENIMIENTO, el cual se constituye en el corazón del sistema y controla los anteriores módulos, dentro de sus múltiples funciones, lee los datos brutos, los almacena, detecta máximos y mínimos, realiza cálculos de Transformada rápida de Fourier FFT, interactúa con la base de datos, entre otros.

EL sistema utiliza la red celular para la realización de sus transmisiones, lo cual ocurre porque no existen en operación otros medios disponibles, sin embargo, el desarrollo instalado permite efectuar un cambio en el sistema de comunicación por ejemplo a la telemetría en el evento en que dicho servicio se encuentre disponible. También es de anotar que los equipos tienen incluida una serie de subrutinas que

permiten el manejo de los datos en caso de ocurrencia de desastres como un evento sísmico.

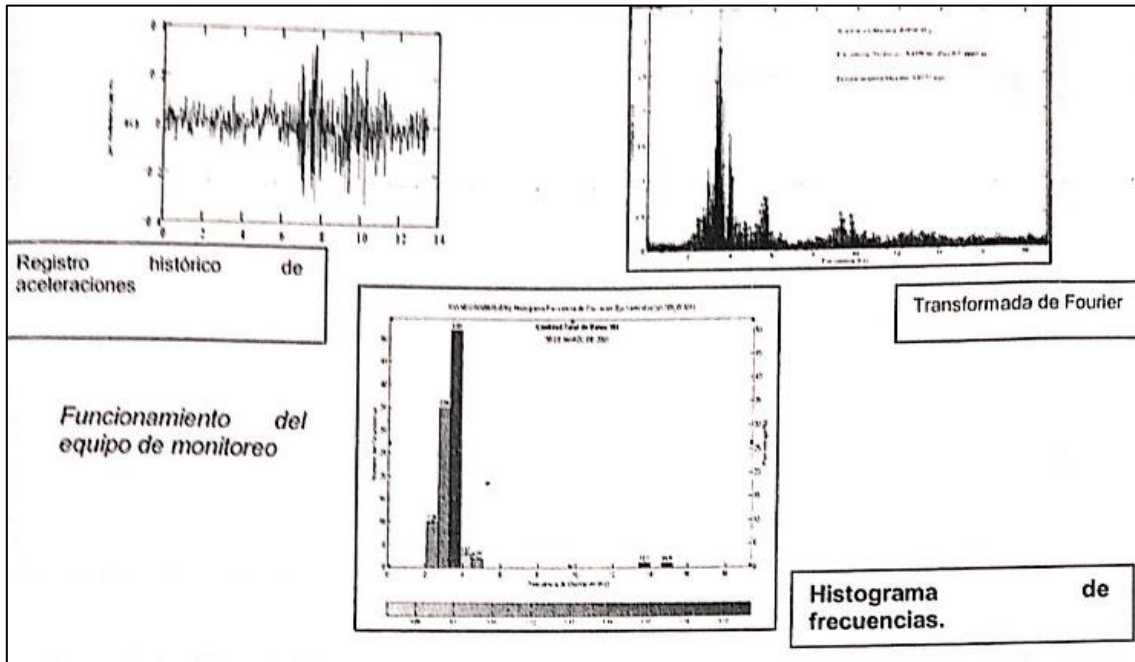


Ilustración 60: Esquema de funcionamiento del equipo de monitoreo. (IDU, 2004)

Previendo que un evento sísmico genera una alta congestión en la red celular y se ocasiona un estado de alarma general en la totalidad de la infraestructura de equipos instalada a la fecha (esto teniendo en cuenta el contrato 212-2002 con el CIF se instalaron 67 equipos y mediante contratos de construcción de puentes nuevos se han instalado otros 5) lo cual repercute en las llamadas simultáneas a la central de recepción, los equipos almacenan los datos de tal forma que se pierden los registros históricos, no existe problema de consumo de energía, ya que están provistos de una batería recargable con capacidad de funcionamiento sin recarga del orden de una semana, nunca dejan de efectuar lecturas en los dos ejes de medición ya que esta función es circular lo que garantiza el registro de los datos de manera permanente y continua y, tienen programado un sistema de interacción con la central que permite bajar los datos en la medida que la central lo autorice ya que la recepción de los datos se efectúa con confirmaciones de recibido a fin de garantizar que no se pierda ningún dato.

Todo el desarrollo tecnológico esta soportado por la sistematización de los procesos a través de un software especial con un motor de base de datos montado en un

computador maestro, que se encuentra localizado en el IDU, y bajo las condiciones de seguridad de información requeridas.

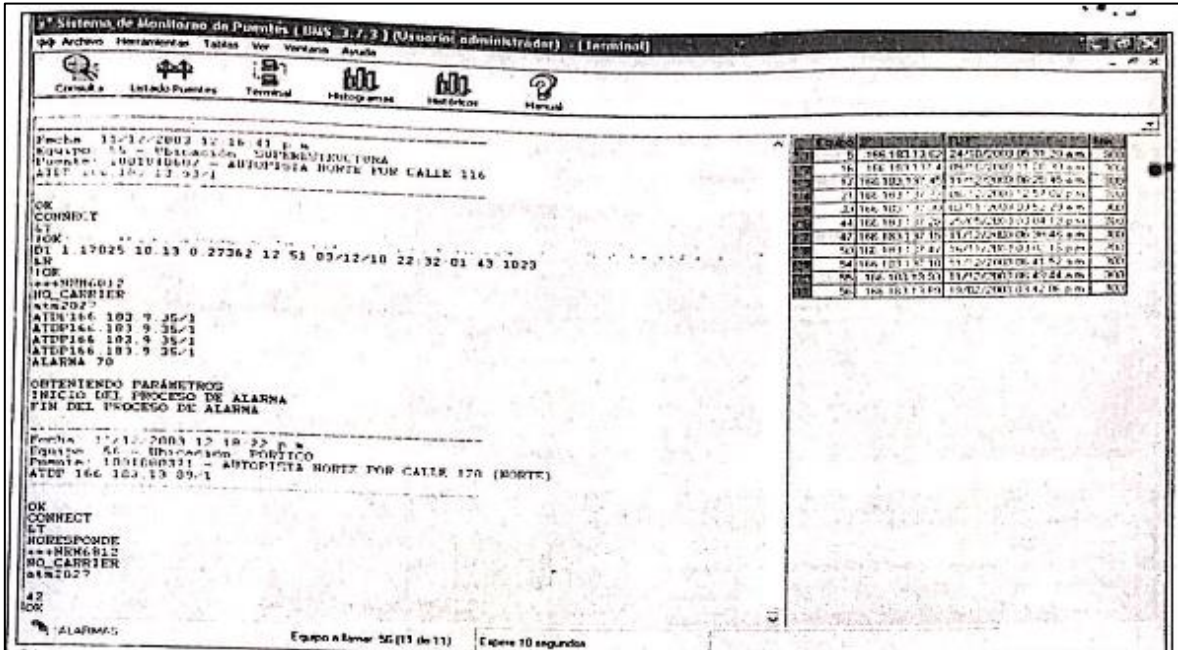


Ilustración 61: Sistema de monitoreo de Puentes BMS 3.7.3 (IDU, 2004)

EL computador maestro se encarga de efectuar llamadas diarias a los equipos de medición y de recibir las respuestas con los datos de aceleraciones, frecuencias, desplazamientos, temperatura, fechas, voltajes de baterías y demás datos, como históricos de aceleración y si existen alarmas. Al recibir la información el software se encarga de verificar que ésta sea la adecuada para ingresarla a la base de datos y que no existan daños en los datos transmitidos por efecto del proceso de transmisión.



Ilustración 62: Computador central y equipo Master que controla las transmisiones de los equipos. (IDU, 2004)

El almacenamiento de los datos está estructurado en tablas que contienen campos relacionados con el acelerómetro, la configuración del equipo, datos relacionados con el equipo, las transmisiones, identificación del puente, tipo de tráfico, aspectos de las estructuras de los puentes, de la respuesta sísmica puntual, estudios de suelos, datos de umbrales de frecuencia, asentamientos, y datos relacionados con la historia de los puentes como contratos, constructores, áreas, etc.,

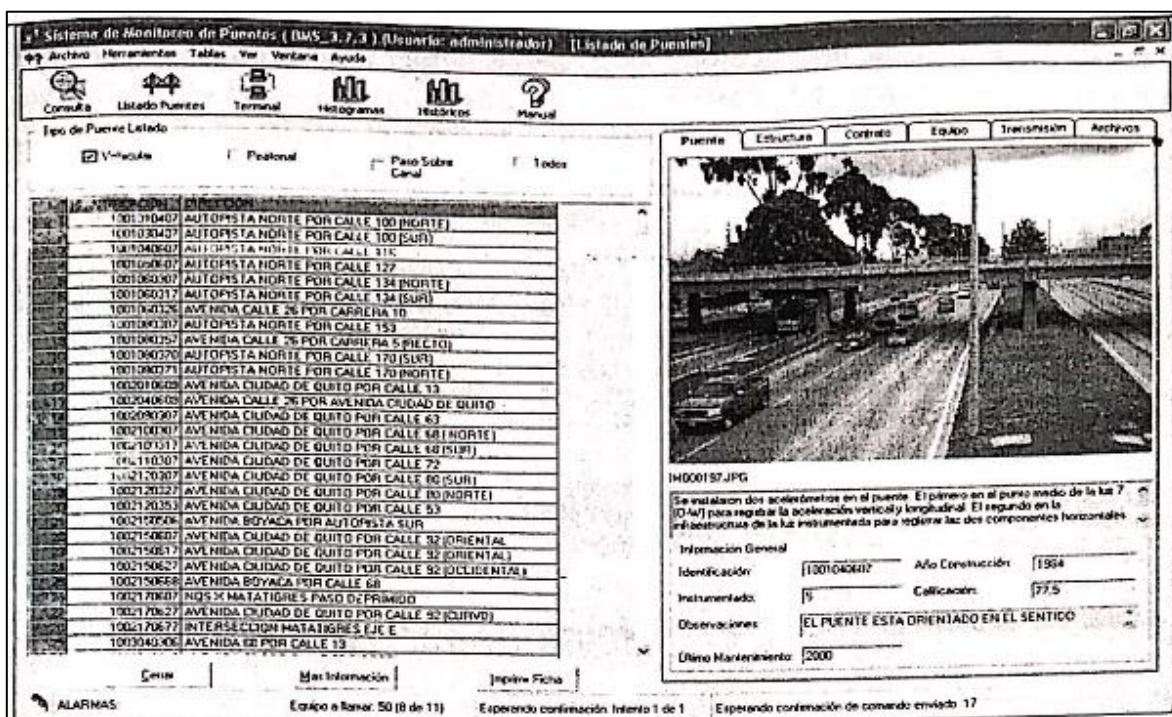


Ilustración 63: Vista de la base de datos del sistema de Monitoreo de Puentes. (IDU, 2004)

En el desarrollo de la implementación del sistema de monitoreo, el IDU gestionó la conformación de un comité técnico, integrado por la academia, la industria y el IDU con el propósito de hacerle seguimiento al desempeño del mismo sistema. Dentro de las funciones establecidas para el Comité de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Seguimiento al Sistema de Monitoreo de Puentes en Bogotá están las de revisar los procesos de manejo de información existentes y proponer actualizaciones que permitan optimizar y mejorar el sistema instalado, así como diseñar procesos de manejo de información existentes y proponer actualizaciones que permitan optimizar y mejorar el sistema instalado, así como diseñar procesos de captura de datos que permitan la caracterización de las estructuras y por ende una optimización de los equipos instalados. De acuerdo con estos lineamientos se

han desarrollado una serie de discusiones que llevaron a proponer la necesidad de diagnosticar el sistema el cual funcionó para evaluar la utilidad de la información que se recopiló (tipo, frecuencia de transmisión, método de transmisión de datos, costos, etc. Plantear alternativas viables, desde un punto de vista técnico y económico, para la transmisión de información, desarrollar e implementar una metodología para el procesamiento automático de la información recopilada con miras en poder caracterizar dinámicamente los puentes instrumentados, integrando para ello toda la información existente de los puentes (estudio de suelos, levantamiento estructural del puente, estudios de patología, tipos de cargas actuantes, etc.)

La información que ha sido recopilada desde diciembre de 2002 hasta el 2007, ha consistido en aceleraciones máximas puntuales, con la frecuencia fundamental del evento, fecha, y hora de los dos ejes; según lo requerido en el contrato IDU-212-2002. Adicionalmente, se recopilaron registros de aceleraciones con una duración de aproximadamente 20 segundos (un registro mensual por equipo) desde el 2003. Toda esta información y el análisis cualitativo y cuantitativo que se realizó a través de los contratos IDU-212-2002, IDU-212-2003 y IDU-119-2004 deben ser complementados y redireccionados a otro tipo de análisis con el fin de poder caracterizar las estructuras dinámicamente y de esta manera poder desarrollar e implementar una metodología que le permita al IDU un mantenimiento proactivo efectivo y eficiente de los puentes de la ciudad.

Adicionalmente, el programa de instrumentación que se implementó no estuvo orientado de manera adecuada a mejorar el conocimiento del comportamiento de los puentes ante la ocurrencia de un sismo intenso ni a recopilar información adecuada para el estudio del comportamiento sísmico de los puentes.” (Instituto de Desarrollo Urbano, 2007)

Para el desarrollo y estructuración de este trabajo se van a tener en cuenta dos fuentes que hacen referencia al desarrollo del monitoreo y salud estructural mediante tecnologías, se tendrá en cuenta el estudio realizado por el INVIAS y la Pontificia Universidad Javeriana, quienes desarrollaron esta implementación mediante el estudio del Puente Puerto Salgar, el Viaducto Cesar Gaviria Trujillo. Por

otro lado se tendrá en cuenta el estudio e implementación realizado por el IDU (Instituto de Desarrollo Urbano) y el CIF (Centro Internacional de Física) de la Universidad Nacional de Colombia de la mano del Doctor José Enrique García, prevaleciendo que esta última implementación fue desarrollada en el año 2002, con posteriores estudios, mantenimiento y seguimientos, en la actualidad esta información se encuentra en los archivos del Instituto de Desarrollo Urbano IDU, resaltando que esta información no se encuentra en la plataforma del SECOP por su antigüedad, por lo cual fue necesario solicitar esta información de forma escrita y esperar su consecución para así poder acercarse personalmente y revisar los archivos pero lastimosamente no se obtuvo la respuesta esperada, no se tienen los datos procesados y los equipos tampoco están en funcionamiento.

Actualmente, el monitoreo estructural se clasifica en un área de investigación importante y de rápido crecimiento que está atrayendo el interés de los investigadores y las agencias de gobierno relacionados con el mantenimiento y seguridad de los diferentes tipos de obras civiles. (Amezquita, 2012)

9.2. Puente Pumarejo



Ilustración 64: Puente Pumarejo (Revista Semana, 2019)

Siendo este proyecto una proximidad a la instrumentación de puentes vehiculares en Colombia, tuvo su inicio en el año 2011 mediante Contrato 2200 – diciembre 2011, según lo estipula el VOLUMEN No. 1: PROYECTO DE INSTRUMENTACIÓN Y MONITORIZACIÓN ESPECIFICACIONES TECNICAS.

VERSIÓN 2. FECHA 15/05/2014:

9.2.1. Objetivos.

El Proyecto de Instrumentación tendrá pues como objetivo definir aquellos parámetros de control y medida que se consideren más adecuados para verificar tanto, durante la construcción, como durante la vida útil del puente el adecuado comportamiento estructural del mismo, así como la definición de los equipos e instalaciones necesarias para llevarlo a cabo.

De forma general, los parámetros que está previsto controlar serán:

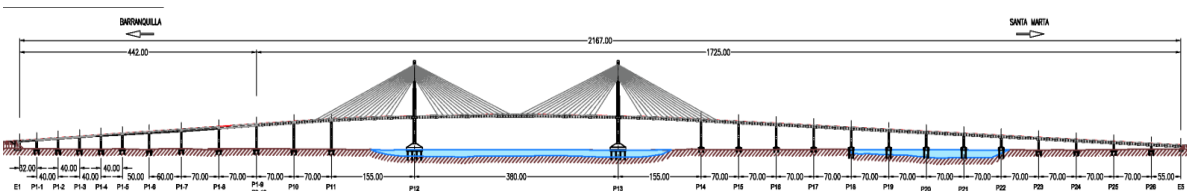
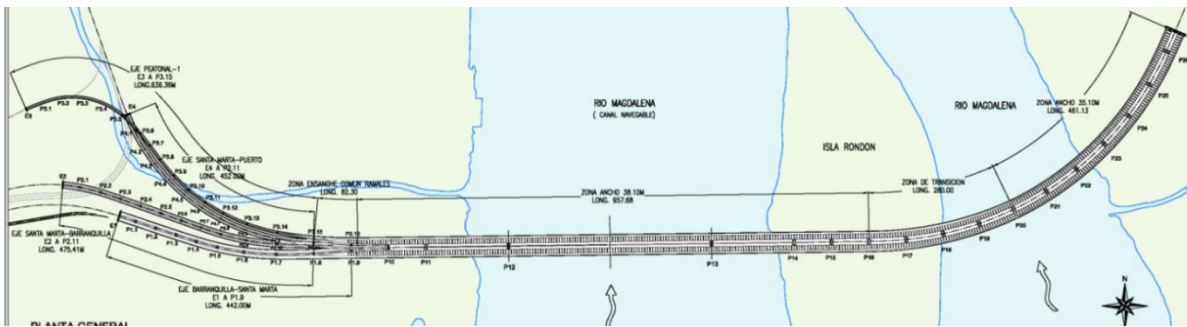
- Datos internos de la estructura: desplazamientos, asientos, giros, aceleraciones, temperatura interior
- Datos externos: velocidades de viento, temperatura, humedad etc.

Será igualmente importante definir la forma de transmisión de los datos, de almacenamiento y de tratamiento y de interpretación, fijando los valores de alerta para detectar rápidamente comportamientos imprevistos de la estructura.

Además de la Monitorización e Instrumentación permanente se definirá un proyecto para la Fase de Construcción y la Fase de Servicio. En el primer caso se centrará en controlar partes de la estructura comprometidas durante el montaje de la obra (movimientos del tablero, de la torre de atirantamiento...) y los movimientos del mismo para un control de la geometría de la obra, definiendo igualmente los valores umbral de parada o riesgo.

9.2.2. Descripción del nuevo Puente Pumarejo

El nuevo puente es una estructura continua de extremo a extremo, con juntas exclusivamente en los estribos, con tablero con sección cajón en concreto presforzado en la que se pueden diferenciar distintas zonas:



9.2.3. Planteamiento del proyecto de instrumentación

Tal y como se ha comentado el Plan de Instrumentación deberá tener en cuenta las necesidades de distinto carácter durante la vida útil de la estructura:

9.2.4. Instrumentación durante la Fase de Construcción

Atendiendo a esta fase de la vida de la estructura, el Plan de Instrumentación irá encaminado a controlar los elementos más críticos de la construcción de un puente atirantado por avance en voladizo: giros/desplazamientos de la torre, empotramiento del tablero en torre, diferencias de temperatura entre el sistema de atirantamiento, tablero y torre, etc. Toda esta información permitirá establecer con precisión las cotas de montaje de las dovelas del tablero y el adecuado control de la rasante final del mismo.

9.2.5. Instrumentación durante la fase de explotación

Uno de los aspectos más significativos a analizar durante los primeros años de explotación de la estructura es el comportamiento de los tirantes frente a las oscilaciones producidas por el viento. Para obtener esta información se dispondrán acelerómetros y/o transductores de desplazamientos. De la información obtenida y su comparación de los valores de referencia se tomarán las decisiones oportunas sobre la necesidad o no de disponer amortiguadores en los diferentes tirantes.

9.2.6. Instrumentación durante la fase de conservación

Para la Fase de Conservación se dispondrán dispositivos de control y sus correspondientes valores de alerta y alarma para prevenir daños inesperados y comportamientos estructurales anómalos no previstos en los Manuales de Conservación y Mantenimiento del Puente.

9.2.7. Secciones estructurales y dispositivos de medida

Se indica a continuación las secciones de los distintos elementos estructurales y los dispositivos de medida a disponer en cada una de ellas.

9.2.8. Torres de Atirantamiento

Se instrumentarán de forma completa las secciones críticas tanto en construcción como en servicio las secciones ST-1, ST-2, ST-3 y ST-4, correspondientes a la sección de empotramiento con las cimentaciones, el tablero en su parte inferior y superior, así como la parte superior de la misma. En cada una de las secciones se dispondrán los siguientes sensores:

- 10 Extensómetros sobre barras de armar
- 4 Sondas de temperatura embebidas en el concreto

Con los extensómetros se pretende obtener los esfuerzos globales en la sección, obtenidos por integración de las tensiones. Con las sondas de temperatura se obtendrán los gradientes de temperatura.

En secciones intermedias se dispondrán clinómetros en las caras frontales y laterales que permiten el control de los giros de la torre en las secciones bajo el tablero y sobre el mismo.

Como apoyo al estudio del comportamiento dinámico de los tirantes se dispondrán en la sección superior de las torres 2 acelerómetros, una en cada dirección horizontal.

9.2.9. Tablero principal

Se instrumentarán de forma completa las secciones críticas correspondientes a las secciones sobre apoyos, secciones intermedias y secciones centro de vano. Por cada semi-puente principal corresponden a las secciones STA-1 a STA-6. Los sensores que se dispondrán en cada sección serán los siguientes:

- 10 Extensómetros sobre barras de armar
- 5 Sonatas de temperatura embebidas en el concreto

Con los extensómetros se pretende obtener los esfuerzos globales en la sección, obtenidos por integración de las tensiones. Con las sondas de temperatura se obtendrán los gradientes de temperatura.

Para el estudio del comportamiento dinámico del tablero se dispondrán en 2 secciones de cada semi-puente 3 acelerómetros, uno en cada dirección.

9.2.10. Tirantes

Con el fin de tener un control continuo de las fuerzas en tirantes durante la vida útil de los mismos, se dispondrán células de carga en cordones individuales en 5 parejas de tirantes de cada abanico. Para el estudio de su comportamiento dinámico se dispondrá un acelerómetro en cada uno de los tirantes anteriores.

Para realizar una calibración de los efectos de temperatura en el interior de los mismos se dispondrán unas muestras de vainas y cordones que se colocarán sobre el tablero en condiciones de soleamiento idénticas donde se instalarán sondas de temperatura.

9.2.11. Pilas adyacentes

En las pilas adyacentes a las torres principales se dispondrán 2 secciones completamente instrumentadas con extensómetros en barras y sondas térmicas. Se dispondrán clinómetros así como células de cargas bajo los apoyos.

9.2.12. Tablero de los vanos de acceso

Se instrumentará la sección de centro de vano de 2 vanos de los viaductos de acceso. Los dispositivos a disponer se corresponden con los empleados en el tablero del vano principal:

- 10 Extensómetros sobre barras de armar
- 5 Sonatas de temperatura embebidas en el concreto

9.2.13. Otros dispositivos

Para la caracterización de las acciones ambientales se dispondrán fuera de las secciones estructurales los siguientes dispositivos de medida:

- Veletas, para la medición de la dirección del viento
- Anemómetros para la medición de la velocidad del viento.

Sondas térmicas ambientales, para la medida de la temperatura ambiental.

9.2.14. Presupuesto

SENSORES				
Ud.	CONCEPTO	Uds.	Precio Unit.	TOTAL
TIRANTES				
Ud.	Extensómetros soldables por punto (Cuerda vibrante), marca CAMPELL SCIENTIFIC o similar, y 0,4 microdeformaciones de sensibilidad	40	\$ 702.622,03	\$ 28.104.881,21
Ud.	Sondas temperatura, termoresistencia de platino, tipo PT-100 o similar, encapsulada en vaina de acero inoxidable, apta también para ser embebida en hormigón, con rango de -50º a 150ºC, y sensibilidad de 0,1ºC.	4	\$ 590.202,51	\$ 2.360.810,02
Ud.	Acelerómetros triaxiales, marca KISTLER o similar, con una sensibilidad de 0,01 mv/g, apreciación de 0,01 m/s ² y ±2g de rango	40	\$ 6.632.751,97	\$ 265.310.078,60
ml	Cable extensómetros soldables por punto. Cable de cuatro (4) conductores multifilares tipo 2 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores.	12000	\$ 16.188,41	\$ 194.260.938,91
ml	Cables sondas de temperatura. Cable de cuatro (4) conductores multifilares tipo 2 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores.	1434	\$ 16.188,41	\$ 23.214.182,20
ml	Cable Acelerómetro. Cable de seis (6) conductores tipo 3 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores al Sistema de Adquisición	12000	\$ 24.282,62	\$ 291.391.408,37
TORRE DE ATIRANTAMIENTO				
Ud.	Clinómetros biaxiales, marca JEWELL INSTRUMENTS similar, de 0,01º de apreciación y capacidad de medida de hasta 10º.	12	\$ 4.215.732,18	\$ 50.588.786,17
Ud.	Extensómetros de barra de amar (Cuerda vibrante), marca CAMPELL SCIENTIFIC o similar, y 0,4 microdeformaciones de sensibilidad	80	\$ 4.384.361,47	\$ 350.748.917,48
Ud.	Sondas temperatura, termoresistencia de platino, tipo PT-100 o similar, encapsulada en vaina de acero inoxidable, apta también para ser embebida en hormigón, con rango de -50º a 150ºC, y sensibilidad de 0,1ºC.	32	\$ 477.782,98	\$ 15.289.055,38
Ud.	Acelerómetros triaxiales, marca KISTLER o similar, con una sensibilidad de 0,01 mv/g, apreciación de 0,01 m/s ² y ±2g de rango	2	\$ 6.632.751,97	\$ 13.265.503,93
ml	Cable clinómetros biaxiales. Cable de seis (6) conductores multifilares tipo 3 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores.	3180	\$ 24.282,62	\$ 77.218.723,22
ml	Cable extensómetros barra de amar. Cable de cuatro (4) conductores multifilares tipo 2 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores.	3800	\$ 16.188,41	\$ 61.515.963,99
ml	Cable sondas de temperatura. Cable de cuatro (4) conductores tipo 2 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores al Sistema de Adquisición	8480	\$ 16.188,41	\$ 137.277.730,16
ml	Cable Acelerómetro. Cable de seis (6) conductores tipo 3 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores al Sistema de Adquisición	610	\$ 24.282,62	\$ 14.812.396,59

TABLERO PRINCIPAL				
Ud.	Extensómetros de barra de amar (Cuerda vibrante), marca CAMPELL SCIENTIFIC o similar, y 0,4 microdeformaciones de sensibilidad	110	\$ 4.384.361,47	\$ 482.279.761,53
Ud.	Sondas temperatura, termoresistencia de platino, tipo PT-100 o similar, encapsulada en vaina de acero inoxidable, apta también para ser embebida en hormigón, con rango de -50º a 150ºC, y sensibilidad de 0,1ºC.	55	\$ 477.782,98	\$ 26.278.063,93
Ud.	Acelerómetros triaxiales, marca KISLER o similar, con una sensibilidad de 0,01 mv/g, apreciación de 0,01 m/s ² y ±2g de rango	8	\$ 6.632.751,97	\$ 53.062.015,72
ml	Cable extensómetros barra de amar. Cable de cuatro (4) conductores multifilares tipo 2 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores.	13425	\$ 16.188,41	\$ 217.329.425,41
ml	Cable sondas de temperatura. Cable de cuatro (4) conductores tipo 2 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores al Sistema de Adquisición	5640	\$ 16.188,41	\$ 91.302.641,29
ml	Cable Acelerómetro. Cable de seis (6) conductores tipo 3 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores al Sistema de Adquisición	1682	\$ 24.282,62	\$ 40.843.362,41
FILAS ADYACENTES				
Ud.	Extensómetros de barra de amar (Cuerda vibrante), marca CAMPELL SCIENTIFIC o similar, y 0,4 microdeformaciones de sensibilidad	40	\$ 4.384.361,47	\$ 175.374.458,74
Ud.	Clinómetros biaxiales, marca JEWELL INSTRUMENTS similar, de 0,01º de apreciación y capacidad de medida de hasta 10º.	8	\$ 4.215.732,18	\$ 33.725.857,45
Ud.	Sondas temperatura, termoresistencia de platino, tipo PT-100, encapsulada en vaina de acero inoxidable, apta también para ser embebida en hormigón, con rango de -50º a 150ºC, y sensibilidad de 0,1ºC.	16	\$ 477.782,98	\$ 7.644.527,69
Ud.	Celulas de carga en los apoyos con un rango de hasta 700 bar y una apreciación de 0,5 kp/cm ²	4	\$ 5.002.668,86	\$ 20.010.675,42
ml	Cable extensómetros barra de amar. Cable de cuatro (4) conductores multifilares tipo 2 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC (PUR) - goma, para conexión de sensores.	4000	\$ 16.188,41	\$ 64.753.646,30
ml	Cable clinómetros biaxiales. Cable de seis (6) conductores multifilares tipo 3 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores.	800	\$ 24.282,62	\$ 19.426.093,89
ml	Cable sondas de temperatura. Cable de cuatro (4) conductores tipo 2 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores al Sistema de Adquisición	1600	\$ 16.188,41	\$ 25.901.458,52
ml	Cable celulas de carga. Cable de seis (6) conductores tipo 3 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores al Sistema de Adquisición	240	\$ 24.282,62	\$ 5.827.828,17

TABLERO VANOS DE ACCESO				
Ud.	Extensómetros de barra de amar (Cuerda vibrante), marca CAMPBELL SCIENTIFIC o similar, y 0,4 microdeformaciones de sensibilidad	40	\$ 4.384.361,47	\$ 175.374.458,74
Ud.	Sondas temperatura, temoresistencia de platino, tipo PT-100 o similar, encapsulada en vaina de acero inoxidable, apta también para ser embebida en hormigón, con rango de -50º a 150ºC, y sensibilidad de 0,1ºC.	20	\$ 477.782,98	\$ 9.555.659,61
ml	Cable extensómetros barra de amar. Cable de cuatro (4) conductores multifilares tipo 2 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC (PUR) - goma, para conexión de sensores.	9200	\$ 16.188,41	\$ 148.933.386,50
ml	Cable sondas de temperatura. Cable de cuatro (4) conductores tipo 2 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores al Sistema de Adquisición	4600	\$ 16.188,41	\$ 74.466.693,25
CONDICIONES AMBIENTALES Y VIGILANCIA				
Ud.	Estación meteorologica (Medida de humedad, temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, etc.)	1	\$ 6.295.493,39	\$ 6.295.493,39
Ud.	Camara de video-vigilancia, con capacidad de comunicación a través de red Ethernet y Wi-Fi	2	\$ 3.175.851,58	\$ 6.351.703,15
ml	Cable estación meteorologica. Cable de cuatro (4) conductores multifilares tipo 2 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores.	305	\$ 16.188,41	\$ 4.937.465,53
ml	Cable camara de video-vigilancia. Cable de cuatro (4) conductores multifilares tipo 2 x 2 x 0,5, apantallado con malla trenzada de acero y con recubrimiento de PVC - goma, para conexión de sensores.	610	\$ 16.188,41	\$ 9.874.931,06
OTROS				
ml.	Tubo de PVC, de diámetro 50 mm, para protección de cables de señal de sensores en zonas de mayor peligro de roturas, incluyendo elementos de sujeción.	500	\$ 18.661,64	\$ 9.330.820,56
TOTAL SENSORES				\$ 3.234.239.804,49

EQUIPO DE ADQUISICIÓN DE DATOS				
Ud.	CONCEPTO	Uds.	Precio Unit	TOTAL
Ud.	Sistema de adquisición simultánea de datos CR1000 DataLogger Campbell Scientific o similar. Permite conectar hasta 6 datalogger de hasta 32 canales cada uno de ellos, almacenamiento autónomo en flash card, auto arranque, o por nivel de un canal	3	\$ 29.049.205,22	\$ 87.147.615,65
Ud.	EquiposAVW200: Interace para sensor cuerda vibrante Campbell Scientific o similar. Permiten conectar en serie 2 modulos multiplexores de 32 canales cada uno, con análisis frecuencial	10	\$ 4.047.102,89	\$ 40.471.028,94
Ud.	Datalogger AM16/32 Multiplexor Campbell Scientific o similar. Permite conectar hasta 32 sensores cada uno de ellos	20	\$ 4.856.523,47	\$ 97.130.469,46
Ud.	Ud de suministro de Estación Central para el control del Sistema de Adquisición de Datos, compuesta por Ordenador con procesador Corel i5 con 4 Gb de memoria RAM, disco duro de 40 Gb, tarjeta vídeo 32 Mb, CD 52x + Multimedia, integrando tarjeta modem para transmisión de datos y comunicación remota con otros puesto de control, teclado y ratón	2	\$ 10.792.274,38	\$ 21.584.548,77
Ud.	Sistema de alimentación ininterrumpida (S.A.I) con una autonomía de 1 hora para una potencia de servicio de 600 W de las siguientes características: -Tensión de entrada: 160 V a 276 V con frecuencia 50/60 Hz $\pm 3\%$ -Batería: Pb - Ca, estanca, sin mantenimiento -Tensión de salida 230 V $\pm 2\%$, Frecuencia sincronizada 0,5% - Tecnología on-line con doble conversión	2	\$ 2.698.068,60	\$ 5.396.137,19
TOTAL EQUIPO DE ADQUISICIÓN				\$ 251.729.800,01
INFORMES				
Ud.	Análisis de resultados y emisión de informe mensual de campaña de lectura.	24	\$ 5.036.394,71	\$ 120.873.473,10
Ud.	Análisis de resultados y emisión de informe final	1	\$ 12.366.147,73	\$ 12.366.147,73
TOTAL INFORMES				\$ 133.239.620,83

PERSONAL DESPLAZADO A LA OBRA PARA MONTAJE				
Ud.	Mes de Técnico de Grado Superior (Responsable de proyecto), en horario diurno (9 - 19 h.) de días laborables, incluyendo tiempos de desplazamiento a obra, de presencia en ésta y retorno, incluso gastos y dieta por jornada	4	\$ 74.466.693,25	\$ 297.866.773,00
Ud.	Mes de Técnico Electrónico o Informático, en horario diurno (9 - 19 h.) de días laborables, incluyendo tiempos de desplazamiento a obra, de presencia en ésta y retorno, incluso gastos y dieta por jornada	4	\$ 54.321.114,40	\$ 217.284.457,60
Ud.	Mes de Técnico Especialista en instrumentación (Encargado de instalaciones), en horario diurno (9 - 19 h.) de días laborables, incluyendo tiempos de desplazamiento a obra, de presencia en ésta y retorno, incluso gastos y dieta por jornada	4	\$ 47.486.007,29	\$ 189.944.029,16
Ud.	Mes de Auxiliar de Instrumentación, en horario diurno (9 - 19 h.) de días laborables, incluyendo tiempos de desplazamiento a obra, de presencia en ésta y retorno, incluso gastos y dieta por jornada	4	\$ 38.852.187,78	\$ 155.408.751,13
TOTAL PERSONAL DESPLAZADO A LA OBRA PARA MONTAJE				\$ 860.504.010,88
MEDIOS AUXILIARES				
Ud.	Jomada de trabajo de medios auxiliares por servicio de grúa autopropulsada con cesta o plataforma elevadora con suficiente alcance para llegar a todos los puntos de instrumentación.	30	\$ 3.091.536,93	\$ 92.746.107,99
TOTAL MEDIOS AUXILIARES				\$ 1.108.658.869,99
TOTAL				\$ 5.588.372.106,20
VALOR DEL CONTRATO				\$ 925.552.063.188,31

PORCENTAJE DE INSTRUMENTACIÓN CON RESPECTO AL CONTRATO	0,60%
---	--------------

Se evidencia que el valor del contrato es bastante alto, por lo cual el porcentaje de la instrumentación evidentemente decrece ya que no es directamente proporcional, además que cabe aclarar que esta instrumentación fue aprovechada durante su construcción con el fin de identificar diferentes factores durante la ejecución y evitar de esta manera incertidumbre.

9.3. Puente Honda

Mejoramiento mediante la Construcción, gestión social, predial y ambiental, de conformidad con los estudios y diseños aprobados para dicho corredor, de las obras para el NUEVO PUENTE DE HONDA (Atirantado) Sobre El Rio Magdalena entre los Municipios de Honda y Puerto Bogotá. Las intervenciones deben contemplar, entre otras, la construcción de los accesos a dicho puente que permitan la conectividad con la vía que del Municipio de Honda conducen al Municipio de Dorada (incluye Glorieta que permite el ingreso al nuevo puente) y la conectividad con la vía concesionada entre Girardot y Puerto Salgar, además de la construcción de un nuevo puente sobre la línea férrea existente. (INVIAS, 2015)

Este puente será el inicio de la instrumentación de una estructura en tiempo real en Colombia.

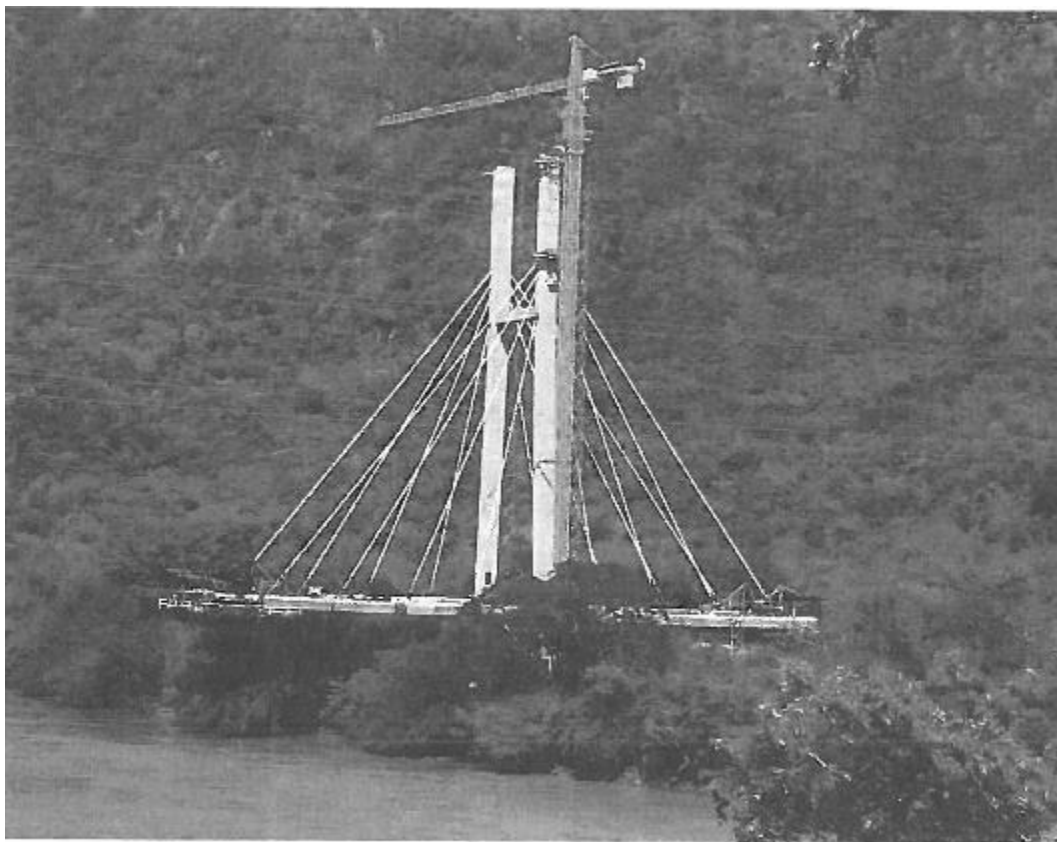


Ilustración 65: Puente Honda en construcción actualmente. (SAFE Instrumentación S.A.S, 2018)

Teniendo en cuenta que este proyecto fue culminado el 16 de diciembre de 2019, es importante resaltar que en el país ya se está tomando conciencia de la

importancia que tiene el hecho de aprovechar la tecnología para poder mitigar colapsos de puentes los cuales conllevan a pérdida de vidas e incomunicación vía terrestre obteniendo pérdidas económicas.

La especificación de este proyecto según (SAFE Instrumentación S.A.S, 2018) comprendió el suministro, la instalación, la operación y el mantenimiento durante el periodo de contrato, igualmente comprende las condiciones requeridas para el almacenamiento, instalación, funcionamiento y mantenimiento de los instrumentos de medida.

Los trabajos incluyen la puesta en servicio, el suministro de repuestos, la entrega de la documentación técnica requerida, relacionada con los instrumentos, la cual incluye procedimientos de instalación, operación y mantenimiento.

El contratista deberá realizar registros de la lectura de la instrumentación instalada durante la construcción, la cual se analizará, desde el punto de vista sistema de alertas, la calidad de la información obtenida por los instrumentos y el comportamiento de los sensores en la construcción de la estructura, de lo anterior se generan reportes semanales y también genera reporte cuando sobrepasen los niveles de Alerta entregados por el diseñador.

Según lo estipulado en el contrato se realizó la instalación de unos instrumentos con el fin de lograr el monitoreo en tiempo real que se requiere, para esto se medirán las siguientes variables:

9.3.1. Instrumentación

9.3.1.1. Instrumentación de medición de temperatura

- Sensor de temperatura embebido en concreto OS 4350

9.3.1.2. Instrumentación de medición de deformación

- Sensor de deformación de embebido en concreto OS3600
- Sensor de deformación de sobreponer en superficies de concreto OS3610
- Sensor de deformación de embebido en concreto OS3155
- Sensor de deformación de embebido en concreto OS3110

9.3.1.3. Instrumentación de medición de inclinación

- Sensor de clinómetro sobre los pilonos T520

9.3.1.4. Instrumentación de medición de la dirección y velocidad del viento

- Sensor de medición del viento 034B

9.3.1.5. Instrumentación de medición de cargas de los torones

- Sensor de temperatura embebido en concreto NZ FBG ALM

9.3.1.6. Instrumentación de medición de aceleración

- Sensor de aceleración uniaxial – triaxial HBM FS65

9.3.1.7. Lectura de los datos de medida de la instrumentación

El contratista deberá realizar lecturas de la instrumentación durante la construcción de las obras y deberá entregar al cliente de manera semanal o antes si lo considera pertinente, la información procesada y graficada, hasta la finalización de la obra o lo pactado previamente.

Fue posible la consecución del presupuesto del proyecto actualizado y por ende el presupuesto correspondiente a la instrumentación.

9.3.2. Presupuesto de Obra

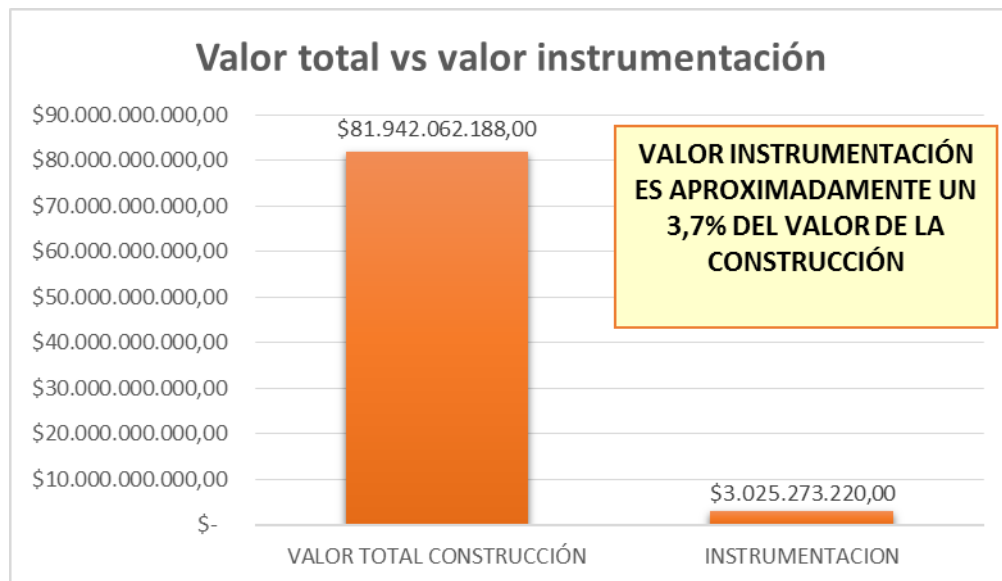
CONCEPTO	VALOR
BASICO DE OBRAS	71.700.860.916
PROVISION PARA AJUSTES, COMPLEM	5.582.815.355
PROVISION PARA JORNADAS DE TRABAJO 7/24	
VALOR IVA (OBRA) (16% SOBRE UTILIDAD OBRA)	468.385.917
SUBTOTAL OBRAS (INCLUYE IVA)	77.752.062.188
REVISIÓN, AJUSTE Y/O ACTUALIZACIÓN ESTUDIOS	250.000.000
IVA - ESTUDIOS Y DISEÑOS	40.000.000
SUBTOTAL ESTUDIOS (INCLUYE IVA)	290.000.000
GESTION SOCIAL Y PREDIAL (Incluye IVA 16%)	900.000.000
GESTION AMBIENTAL (Incluye PAGA e IVA 16%)	3.000.000.000
VALOR TOTAL	81.942.062.188

Tabla 16: Presupuesto de Obra

9.3.3. Presupuesto Instrumentación

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS SUBDIRECCION DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS GRUPO DE PUENTES					
PRESUPUESTO INSTRUMENTACION DEL PUENTE HONDA					
ESPECIE/ PARTICU LAR	DESCRIPCION	UND.	CANTIDADES	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
NP20	Suministro celdas de carga	u	96	\$ 17.971.664,00	1.725.279.744,00
NP21	Suministro de sensor de temperatura FBG	u	26	\$ 3.133.530,00	81.471.780,00
NP22	Suministro de sensor de temperatura tipo k con recubrimiento PVC	u	96	\$ 491.484,00	47.182.464,00
NP23	Suministro de sensores de deformación	u	28	\$ 6.049.965,00	169.399.020,00
NP24	Suministro de sensores de aceleración uni-axial	u	8	\$ 9.815.835,00	78.526.680,00
NP25	Suministro de sensores de aceleración tri-axial	u	2	\$ 31.354.940,00	62.709.880,00
NP26	Suministro de anemómetros	u	4	\$ 17.113.296,00	68.453.184,00
NP27	Suministro de sensores de inclinación	u	8	\$ 16.443.899,00	131.551.192,00
NP28	Automatización - consolas de lectura y aparatos climáticos	u	2	\$ 294.254.132,00	588.508.264,00
NP29	Materiales para instalación y construcción	u	1	\$ 50.573.791,00	50.573.791,00
Valor basico total de la instrumentacion					3.003.655.999,00
VALOR IVA (OBRA) (16% SOBRE UTILIDAD OBRA)					21.617.221,00
SUBTOTAL OBRAS (INCLUYE IVA)					\$ 3.025.273.220,00

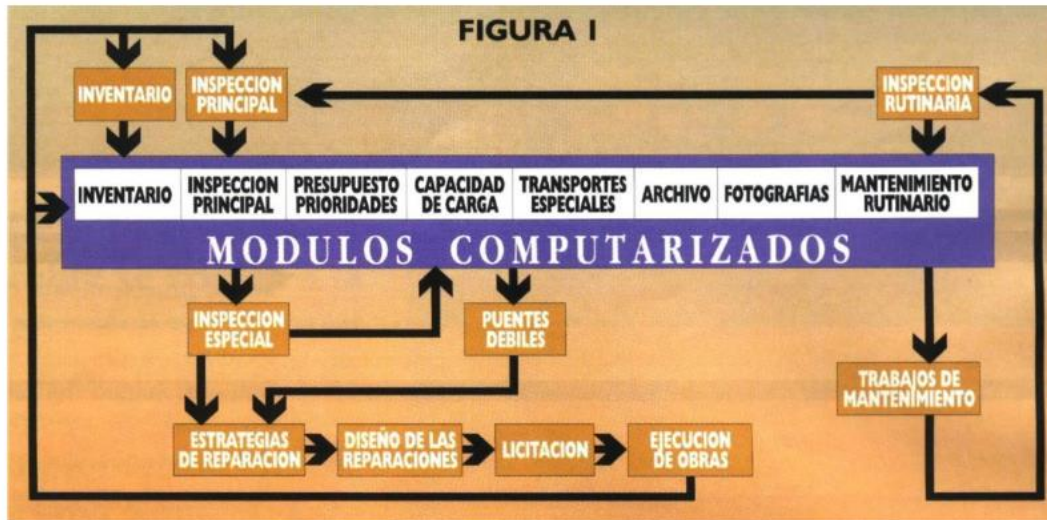
Tabla 17: Presupuesto Instrumentación



Gráfica 15: Comparación valor total vs instrumentación.

Como se puede diferenciar, el costo de la instrumentación es bajo para la magnitud de este proyecto, corresponde aproximadamente al 3,7%, teniendo en cuenta que se hace una sola instalación y retornan datos confiables en tiempo real. Incluso realizando una síntesis con respecto a las instrumentaciones existentes, generalmente su valor esta entre el 2% y 3% del valor total del contrato.

9.3.4. Módulo del Sistema de Administración de Puentes



Gráfica 16: Módulos del Sistema de Administración de Puentes (SIPUCOL) (Instituto Nacional de Vías y Directorado de Carreteras de Dinamarca, 1996) (Parra & Sedano, 2011)

Tiene el objetivo de identificar los puentes en estado crítico y prioriza su intervención de acuerdo con los resultados de la inspección principal, inspección especial, inspección rutinaria, el tránsito promedio diario y la capacidad de carga.

Dependiente del daño o la vulnerabilidad detectada, se ejecutan obras de emergencia para evitar su colapso. Posteriormente se realizan estudios especializados y por último el diseño de obras de reparación definitivas. A continuación, se hace una breve descripción de los módulos principales que conforman este sistema, basados en la información del (Instituto Nacional de Vías y Directorado de Carreteras de Dinamarca, 1996). (Parra & Sedano, 2011)

Se explican todos los módulos según lo expuesto por (Parra & Sedano, 2011) extraído del SIPUCOL:

9.3.4.1. Inventario

Contiene información seleccionada sobre localización, administración, geometría tipologías de la infraestructura y superestructura, capacidad de carga, etc., para cada uno de los puentes que integran la Red Nacional de Carreteras.

9.3.4.2. Inspección Principal

Tiene por objeto realizar para cada puente, una inspección visual de cada uno de los componentes principales (superficie, barandas, bordillos, andenes, vigas, losa, pilas, estribos, apoyos, armaduras, cauce y otros) que hacen parte de la estructura

y dar una calificación basada en una escala cualitativa previamente definida. Mediante este módulo se identifican los puentes que requieren de inspecciones especiales, estudios especializados y reparaciones. El estado general se basa en la calificación del componente “puente”, el cual se obtiene de la mayor calificación de los componentes clasificados como estructurales. Este módulo se basaba en calificaciones cualitativas que se asignaron a cada componente que se presentan a continuación:

Calificación	Descripción
0	Sin daño o con daño insignificante
1	Daño pequeño, pero no se requiere reparación
2	Existe daño, el componente funciona como se diseño
3	Daño significativo, se requiere pronta reparación
4	Daño grave, se necesita inmediata reparación
5	Daño extremo, falla total o riesgo de falla total del componente
¿	Desconocida

Tabla 18: Escala de calificación de los componentes de los puentes (Instituto Nacional de Vías y Directorado de Carreteras de Dinamarca, 1996) (Parra & Sedano, 2011)

9.3.4.3. Inspección especial

Son auscultaciones profundas de la estructura que incluyen ensayos destructivos y no destructivos especializados en campo y en laboratorio.

9.3.4.4. Capacidad de carga

Este módulo pretende identificar los puentes débiles y servir de herramienta en la administración de permisos para cargas especiales.

9.3.4.5. Inspección rutinaria, mantenimiento rutinario y limpieza de puentes

La inspección rutinaria incluye una frecuente revisión superficial de la estructura con el propósito de garantizar la seguridad del tránsito a diario y registrar las necesidades de mantenimiento rutinario y limpieza en los puentes. Mediante los administradores viales se permite establecer políticas de mantenimiento menor y limpieza.

9.3.4.6. Diseño de reparación y refuerzo

Cubre la evaluación de daños, estrategias de reparación y diseño de reparación. Suministra recomendaciones sobre la toma de decisiones para las reparaciones y rehabilitaciones de los puentes, basados en las inspecciones principales, especiales y capacidad de carga.

9.3.4.7. Priorización de obras de reparación y refuerzo

Explica detalladamente el procedimiento de la priorización y como se aplica a la administración de los puentes. Este módulo permite la asignación óptima de recursos para las obras de reparación.

Uno de los módulos fundamentales de este sistema es el de inspección principal, cuyas partes se presentan en la Gráfica 16, se presentan los componentes, la escala de calificación, los tipos de daño y el equipo mínimo necesario que son: cámara, carpeta, chaleco reflector, Grietó metro, Binoculares, cinta, cepillo, cinturón de seguridad, entre otros. (Parra & Sedano, 2011)

9.4. Monitoreo y evaluación estructural de puentes utilizando un sistema de instrumentación inalámbrico – PITRA – Costa Rica

El concepto de MSE se ha desarrollado dentro de un marco conceptual bastante novedoso denominado “Sistemas Estructurales Inteligentes” , los cuales son sistemas dotados de habilidades semejantes a los que posee el mundo biológico, dentro de las cuales se puede hablar básicamente de tres componentes: detección (“sensing” en inglés), procesamiento de información y reacción o adaptación ante el evento. Aún más, si es posible, se busca integrar la función de auto-sanación. Estas funciones son expuestas en la Ilustración 66. El objetivo a largo plazo de las investigaciones en MSE es pretender que la infraestructura civil esté dotada de, por lo menos, las primeras dos funciones en forma integral, y que provea informaciones claves para la toma de decisiones de parte de los ingenieros. (Programa de Infraestructura del transporte (PITRA), 2013)

Modelo conceptual de un sistema estructural inteligente:

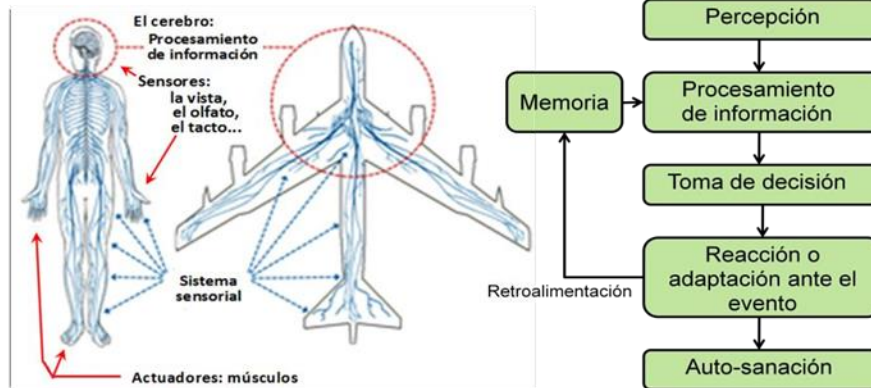


Ilustración 66: Concepto de un sistema estructural inteligente. (Programa de Infraestructura del transporte (PITRA), 2013)

Para conferirle a la estructura la capacidad de detección automática, es necesario disponer de una red de sensores sobre ella y que cada sensor esté ubicado en posiciones estratégicamente seleccionadas para captar toda y solamente la información necesaria que permita conocer su estado en diferentes instantes de tiempo. Las señales captadas por los sensores son luego recolectadas por un sistema de adquisición de datos. Al final, lo más importante es proveer un “cerebro” a la estructura que permita filtrar, procesar, sintetizar y analizar la información recolectada, trabajo que será ejecutado por un ordenador electrónico.

La información sintetizada luego es enviada al ingeniero responsable de la obra para la toma de decisiones. Este proceso conceptual es expuesto en la Ilustración 67. (Programa de Infraestructura del transporte (PITRA), 2013)

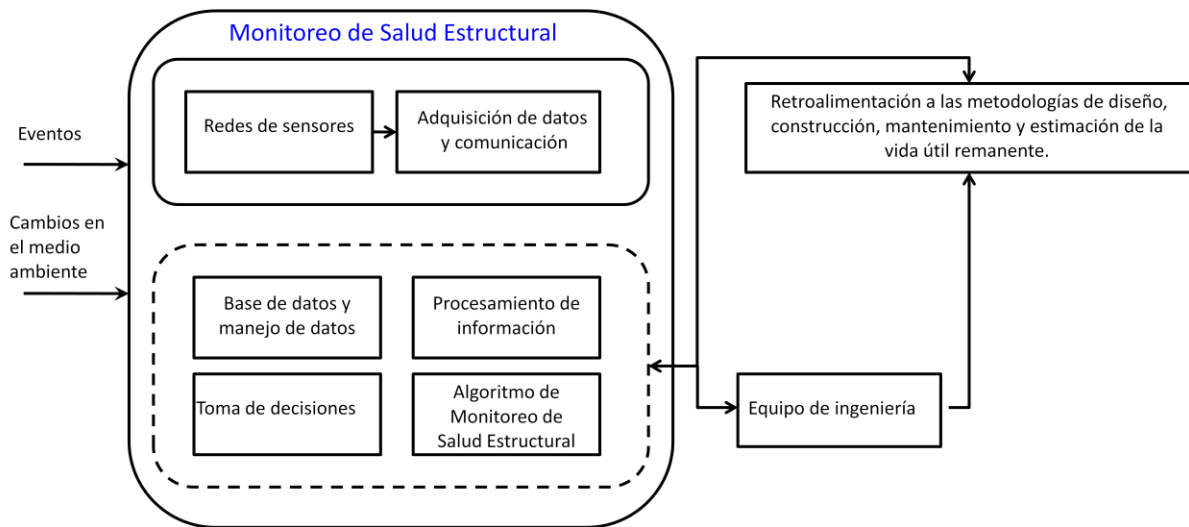


Ilustración 67: Concepto del sistema de monitoreo estructural. (Programa de Infraestructura del transporte (PITRA), 2013)

Hay alrededor del mundo modelos de infraestructuras civiles equipados con sistema integral de Monitoreo, se puede mencionar ejemplares tales como: a) el puente Tsing Ma, Hong Kong, con unos 350 canales de sensores; b) el puente Bill Emerson sobre el río Misisipí, Illinois, los Estados Unidos, con unos 84 acelerómetros instalados; c) el recién construido puente Stonecutters, Hong Kong, con un total de 1781 sensores instalados (ver Ilustración 68).

Todas estas son obras de gran envergadura que constituyen las líneas vitales para estas ciudades. La implementación de tales sistemas de monitoreo permanente permite:

- a) Controlar la calidad en la etapa de construcción.
- b) Verificar los parámetros de diseño contra la construcción in situ.
- c) Evaluar en forma continua las condiciones y los estados operacionales del puente.
- d) Emisión de alertas tempranas cuando éstas están sujetas a cargas excesivas sea causado por el tráfico, por el viento o por sismos, y se detecta daños.



Ilustración 68: a) El puente Tsing Ma, b) Stonecutters y c) Bill Emerson. (Programa de Infraestructura del transporte (PITRA), 2013)

Para el cumplimiento de los objetivos anteriores, el monitoreo sobre los mencionados puentes debe ser en forma continua, debe haber un “cerebro” o un centro de control diseñado para procesar, sintetizar, presentar la información y que el monitoreo se dé en forma automatizada para cada puente en particular.

A pesar del gran potencial que tiene MSE, no todos los puentes son tan esenciales o críticos como para implementar un sistema integral de MSE permanente dado su costo y complejidad. De aquí se puede hablar de dos distintas metas de MSE: monitoreo continuo o evaluación en línea, y pruebas de evaluación o evaluación fuera de línea. Los objetivos de cada uno se detallan en la Ilustración 71.

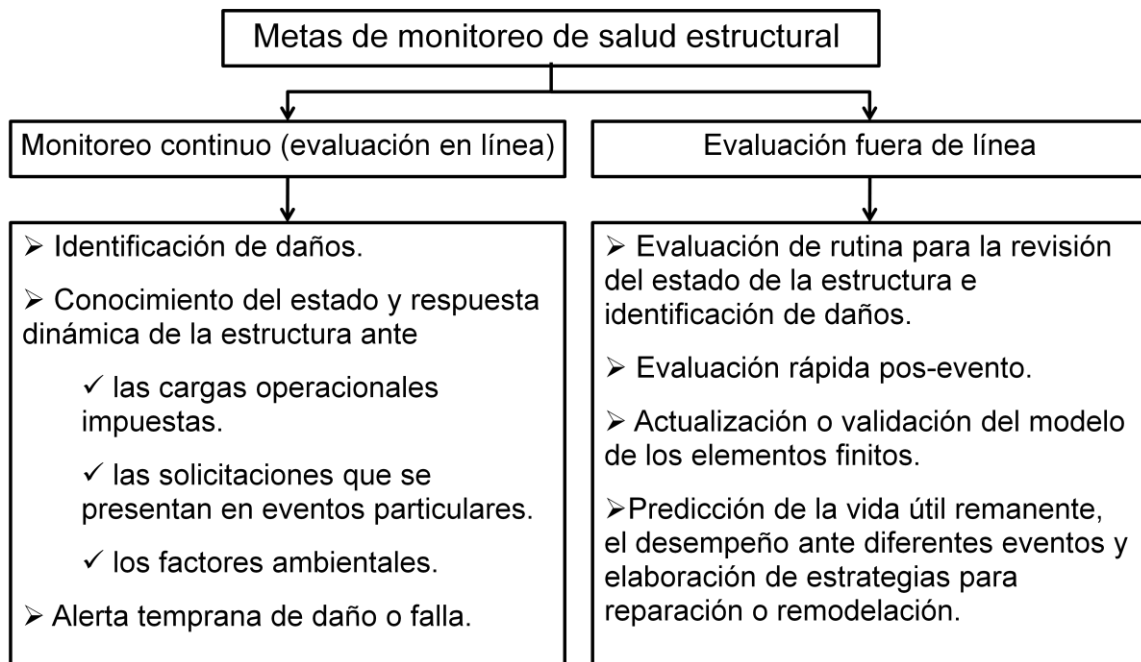


Ilustración 71: Metas de monitoreo de salud estructural. (Programa de Infraestructura del transporte (PITRA), 2013)

Comúnmente, antes de implementar un sistema de monitoreo continuo en una estructura que lo merece, se debe realizar previamente una evaluación fuera de línea en forma exhaustiva para determinar las propiedades dinámicas reales de la estructura (por ejemplo: la obtención de los parámetros modales o validación del modelo de los elementos finitos de la estructura), para luego, integrar esta información básica con el software de MSE para la interpretación de resultados. Esta evaluación a priori permite disponer a la estructura con la menor cantidad de sensores posibles pero ubicados óptimamente, para así, extraer la información esencial que permita inferir sobre el estado de la estructura.

Según Sohn, el proceso de MSE puede describirse como un paradigma de reconocimiento de modelos estadísticos que consta de cuatro partes:

a) Evaluación operacional:

- ✓ Identificar el tipo de daño que se desea monitorear. Por ejemplo: el estado general de la estructura o una parte específica de ella como la rigidez de las losas o la fundación.

- ✓ Identificar factores ambientales y del sistema estructural que influirán en los resultados. Por ejemplo: la variación de la temperatura, los tipos de cargas presentes, tipo de sistema estructural y su material.
- ✓ Limitaciones en la adquisición de datos durante la operación. Por ejemplo: hay puentes cuyo tráfico nunca puede ser interrumpido, sólo vibraciones del puente ante excitaciones ambientales pueden ser medido; la cantidad de sensores, el nivel de las cargas presentes, etc.
- ✓ Definir los objetivos de monitoreo. Por ejemplo: la deflexión máxima, los parámetros modales como las frecuencias naturales de vibración, el amortiguamiento, forma de los modos de oscilación, cambio en las rigideces o flexibilidades, índices de no-linealidad, etc.

b) Adquisición, fusión y limpieza y discriminación de datos.

- ✓ Selección del tipo, la cantidad y la ubicación de los sensores. Por ejemplo: acelerómetros, transductores de deformación, clinómetros, extensómetros, etc.
- ✓ Selección del sistema de adquisición de datos. Por ejemplo: el sistema alámbrico es recomendado para hacer evaluaciones rápidas y cuando no hay suministro continuo de la fuente de poder. La ubicación de los sensores debe basarse en una evaluación exhaustiva previa para que la información permita inferir sobre el estado global de la estructura.
- ✓ Integración y selección de la información de múltiples sensores. Por ejemplo: sincronización de los datos, integración de información de múltiples canales de, por ejemplo, aceleraciones, velocidades o desplazamientos relativos.
- ✓ Filtros y remuestreo de datos digitales. Por ejemplo: para mediciones de aceleraciones, generalmente se requiere de un filtro de paso bajo, pues, los acelerómetros en sí amplifican las señales de frecuencias altas; careciendo de un filtro de paso bajo la señal será contaminada por el exceso de ruido de alta frecuencia.

c) Extracción de características y condensación de información.

- ✓ Identificación de patrones característicos del daño a partir de señales digitales.
- ✓ Técnicas de procesamiento de señales.
- ✓ Identificación de parámetros del modelo dinámico (identificación de sistemas).

d) Desarrollo del modelo estadístico para la discriminación de patrones.

- ✓ Selección del parámetro más sensible al tipo de daño que se desea monitorear. Por ejemplo: deflexión máxima, parámetros modales como las frecuencias naturales de vibración, el amortiguamiento, forma de los modos de oscilación, cambio en las rigideces o flexibilidades, índices de no-linealidad, etc.
- ✓ Selección del modelo estadístico adecuado para el parámetro escogido.
- ✓ Establecimiento de índices de daño con criterios estadístico-probabilísticos.
- ✓ Modelos de inferencia sobre la vida útil residual de una estructura dañada.
- ✓ Construcción de la curva de deterioro de la estructura en el tiempo.

9.4.1. Implementación del Monitoreo de Salud Estructural

Las estrategias de detección de daños para alcanzar las metas de MSE se ilustran en el siguiente diagrama:

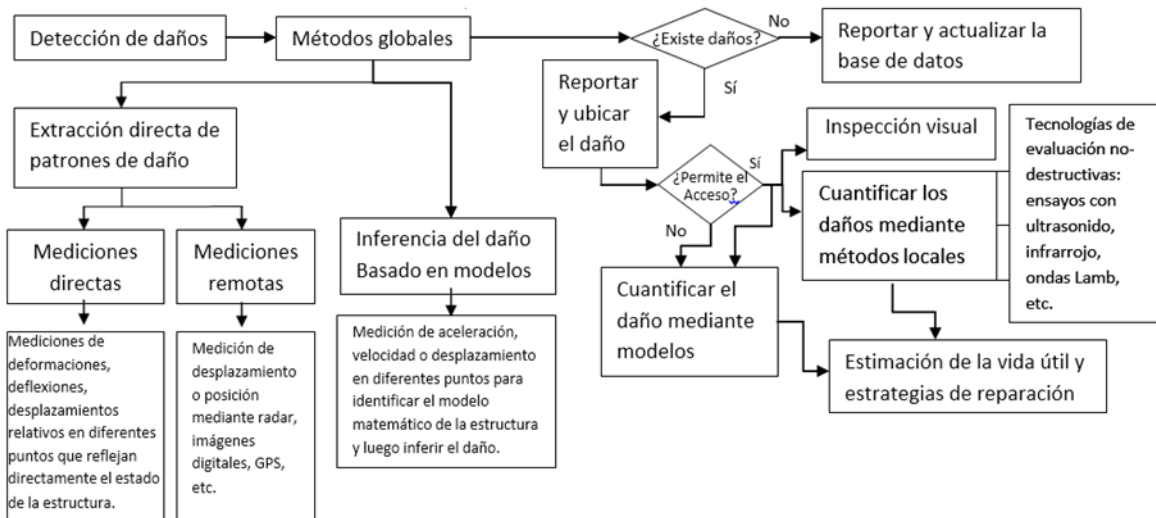


Ilustración 69; Esquema ilustrativo de las estrategias para la implementación MSE. (Programa de Infraestructura del transporte (PITRA), 2013)

Dependiendo del tipo de la estructura, el tipo de daño que se desea detectar, las necesidades y los parámetros de monitoreo, las estrategias a implementar pueden ser distintas de un caso a otro. Como consecuencia, los sensores, el sistema de adquisición de datos y las técnicas de extracción de información también serán distintas.

A continuación, se hará una revisión bibliográfica sobre las principales tendencias que existen a nivel internacional en cuanto a la materia de MSE de puentes, tipos de sistemas de monitoreo empleados, y se comentará de sus respectivos ventajas y desventajas.

9.4.2. Plataformas tecnológicas para la Implementación de MSE

Las plataformas tecnológicas se refieren a la infraestructura física de medición, adquisición, comunicación y transmisión de datos sobre la que se cimienta y se logra plasmar todas las teorías y técnicas de MSE en la realidad, éstas constituyen el hardware de MSE. Se busca que los sensores logren captar la información con suficiente exactitud y que la plataforma de comunicación sea compatible, confiable, amigable y robusta ante interferencias.

Dado el esfuerzo que se ha proporcionado a nivel internacional en la investigación, desarrollo e industrialización de sensores novedosos e infraestructuras inteligentes de adquisición de datos en las últimas décadas, se puede encontrar productos variados y soluciones diversas tanto en la literatura como en el mercado. El Centro de Ingeniería de Puentes de la Universidad del Estado de Iowa ha presentado un informe final para el programa de Investigación en Carreteras del Estado de Wisconsin, donde una recopilación exhaustiva de información referente a las tecnologías desarrolladas en el marco de MSE fue realizada, y se dio especial énfasis a aquellos que tengan atributos de sistemas inteligentes. La síntesis de esta amplia revisión fue presentada en forma de base de datos donde se indica la especificación general de la tecnología, aplicabilidad, costo, limitaciones, requerimientos para ser implementado, disponibilidad y referencias de su aplicación en proyectos de puentes.

Dentro de otras informaciones revisadas también se puede mencionar el informe presentado por El Instituto de Seguridad en el Transporte e Infraestructura Inteligente de la Universidad de Drexel (Drexel Intelligent Infrastructure and Transportation Safety Institute), EEUU, a la Administración Federal de Carreteras (Federal Highway Administration) de los Estados Unidos en el año 2003. El documento se trata de una guía modelo para el monitoreo de salud estructural de puentes de gran envergadura; se discute con bastante detalle desde el inicio hasta el fin del proceso de implementación el monitoreo de un puente, donde los objetivos, alcances, limitaciones, y consideraciones especiales son abordados en los aspectos de: (a) las pruebas estáticas y dinámicas; (b) modelado numérico de la estructura; (c) tipos de sensores necesarios, sus componentes, especificaciones y los criterios para la escogencia; (d) tipos, componentes, especificaciones, y criterios para la selección de un sistema de adquisición de datos; (e) la creación de redes de comunicación; (f) calibración del sistema y error en la medición y (g) la administración de los datos y la interpretación. Por otro lado, Yun y Min (2010) en el artículo “Smart Sensing, Monitoring, and Damage Detection for Civil Infrastructures” expuso la aplicación e integración de varios sistemas y sensores inteligentes desarrollados en los últimos años para el monitoreo tanto a nivel global como local de varios puentes de Corea.

Teniendo en cuenta todos los alcances tecnológicos que existen en la actualidad, (Programa de Infraestructura del transporte (PITRA), 2013) realizó una comparación de estos sistemas con respecto a los alcances, ventajas y desventajas de cada plataforma tecnológica empleada para el monitoreo y evaluación de los puentes, gran parte de la información presentada se resume en el siguiente cuadro comparativo:

	Sistema de Fibra óptica	Sensores inalámbricos	Sensores de medición remota
Tipo de monitoreo	Permanente, y dado su laborioso trabajo de instalación es recomendable que se hiciera durante el proceso de construcción o reforzamiento de la estructura como una parte integral de ella.	Permiten instalaciones tanto temporales (evaluaciones rápidas fuera de línea) como permanentes (monitoreo en línea).	Los métodos visuales y de interferometría permiten sólo mediciones temporales (evaluaciones rápidas), mientras que el método de medición usando luz láser, GPS y PSD permiten instalarse en forma permanente como parte de la Estructura.
Grado de dificultad en la de Instalación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Muy alto. ✓ El manejo, la integración o la adherencia de la fibra tópica a la estructura necesita sumo cuidado y personal capacitado. ✓ Para obtener la curvatura y luego la deflexión se necesita adherir fibra óptica tanto en el lado de tracción como de compresión de la viga o losa del puente, lo cual requiere de andamios o equipos especiales para realizar el trabajo debajo del puente. ✓ Una vez colocado el sensor no puede ser reubicado. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bajo. ✓ En caso de acelerómetros es simplemente colocarse sobre la superficie y empezar a recolectar datos. ✓ Los sensores pueden ser reubicados fácilmente. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bajo. ✓ Su funcionalidad depende de las condiciones topográficas y accesibilidad al sitio para la instalación del radar o cámara.
Recolección de datos y transmisión de información	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El sistema es sumamente confiable y perdurable. ✓ Inmune ante la interferencia de campos electromagnéticos, líneas de alto voltaje, cambios de temperatura y factores ambientales tales como corrosión. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Podría ser interfendo por campos electromagnéticos u ondas de radio. ✓ La transmisión inalámbrica podría interrumpirse durante un aguacero de fuerte intensidad. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El funcionamiento puede verse afectado por las condiciones del tiempo, iluminación en el caso de métodos ópticos, y visibilidad hacia el puente.

	Sistema de Fibra óptica	Sensores inalámbricos	Sensores de medición remota
Suministro de fuente de poder	Necesita fuente de poder continuo y estable.	Puede suministrarse tanto mediante baterías como mediante fuente de poder continua.	Generalmente mediante baterías, sólo en monitoreo permanente se usa fuente continua.
Tipos de datos recolectados (mediciones)	Principalmente deformaciones unitarias (galgas cortas) o deformaciones promedio (galgas largas) de una sección. También hay disponibilidad acelerómetros e clinómetros de fibra óptica para la medición de aceleración y el ángulo de rotación respectivamente.	Principalmente aceleración por la fácil y rápida instalación de acelerómetros sobre el puente. También permite conectarse con diversos sensores como LVDT (mide desplazamiento relativo entre dos puntos), clinómetros, strain gages, etc.	Sólo Desplazamiento (deflexión del puente).
Principal metodología de monitoreo y evaluación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Prueba estática: obtener la curvatura a partir de la deformación y luego de ésta inferir la curva de deflexión del puente. ✓ Prueba dinámica: si el muestreo dinámico es permitido por los sensores es posible realizar también el análisis modal de la estructura. ✓ Medición directa de deformaciones unitarias o deformaciones promedio de secciones o elementos estructurales críticos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuando los acelerómetros son usados, sólo se permite realizar pruebas dinámicas: el análisis modal, identificación del modelo numérico del puente y actualización del modelo de los elementos finitos son los principales métodos de monitoreo y evaluación. ✓ Conectado con otros sensores como strain gauges, también se puede realizar mediciones directas de deformaciones u otros. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Prueba estática: medición directa de la curva de deflexión estática. ✓ Prueba dinámica: medición directa de la deflexión dinámica de uno o varios puntos. Permite también identificar las frecuencias de vibración.
Procesamiento de información recolectado	<p>Se necesita de:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Técnicas de procesamiento de señales digitales. ✓ Técnicas de regresión estadístico sencillo. 	<p>Se requiere de:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Técnicas de procesamiento de señales digitales. ✓ Técnicas de identificación de sistemas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Métodos visuales requieren de técnicas de procesamiento de imágenes digitales. ✓ En caso de sistemas comerciales como IBIS-S o PSD, las funciones ya se encuentran integradas en el producto.

	Sistema de Fibra óptica	Sensores inalámbricos	Sensores de medición remota
Costo aproximado de los equipos e instalación.	<p>Sistema FBG:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Analizador de Espectro Óptico (FBG): aprox. \$ 30,000 USD. ✓ Cada unidad de sensor FBG: aprox. \$ 350 USD. ✓ Costo de instalación: aprox. \$ 3000 USD por metro lineal. <p>Sistema SOFO (SMARTEC):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aprox. \$50,000 dólares por puente cuando el número de sensores no superan 20. 	<p>Unidades inalámbricas (Wireless Sensing Unit, WSU):</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ NTU-WSU: \$ 267 USD. ✓ National Instruments WSU: \$ 770 USD. ✓ Microstrain WSU: \$545 USD. <p>Acelerómetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Tokyo Sokushin AS-301 uniaxial: aprox. \$ 1500 USD cada unidad. ✓ Crossbow MTS 420 biaxial: \$ 375 USD cada unidad ✓ Analog devices MEMS (Micro Electro-Mechanical systems) ADXL213: aprox. \$ 11 USD cada unidad. <p>Transductores de deformación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ BDI strain transducer: \$495 (aluminio), \$535 (acero), \$1,260 (impermeabilizado) por unidad. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Radar Interferométrico: sistema IBIS-S: aprox. \$ 140,000 USD. ✓ Detector de Posición Sensitiva (PSD): aprox. \$ 65,000 USD. ✓ Sistema con cámara de video digital: aprox. \$ 2,000 USD. Con todos los accesorios y una laptop.

Tabla 19: Comparación entre las diferentes plataformas tecnológicas para el monitoreo y evaluación de puentes. (Programa de Infraestructura del transporte (PITRA), 2013)

“Dadas las características de cada plataforma, se recomienda considerar la instrumentación y monitoreo permanente de puentes nuevos o en proceso de rehabilitación y reforzamiento mediante el sistema de fibra óptica, siempre evaluando de antemano el grado de importancia y el estado del puente, las variables ambientales y los componentes estructurales a monitorear, y si está disponible una fuente de poder continua y estable. Es recomendable que la instalación sea realizada durante el proceso de construcción si es un puente nuevo, o durante la ejecución de los trabajos de reforzamiento, para que el sistema sea una parte integral del puente y que esté protegido contra la intemperie y de los roedores; además, se busca aprovechar las obras temporales durante la construcción para la instalación de los mismos, sin las obras temporales la instalación de sistemas de fibra óptica sería sumamente arduo a menos que el puente tenga espacios o conductos previstos para transitarse dentro del puente y para realizar inspecciones.

Para casos de instrumentación permanente de puentes ya construidos, puentes viejos o deteriorados, evaluaciones rápidas del estado del puente, o pruebas de la capacidad de carga del puente, el sistema inalámbrico es recomendado por su bajo costo, facilidad y rapidez en instalación. Además, es recomendable combinarlo con algún sistema de medición remota en caso de pruebas de carga, para obtener tanto los parámetros dinámicos como los estáticos del puente, los cuales se complementan para una completa evaluación y detección de daño en el puente.”
(Programa de Infraestructura del transporte (PITRA), 2013)

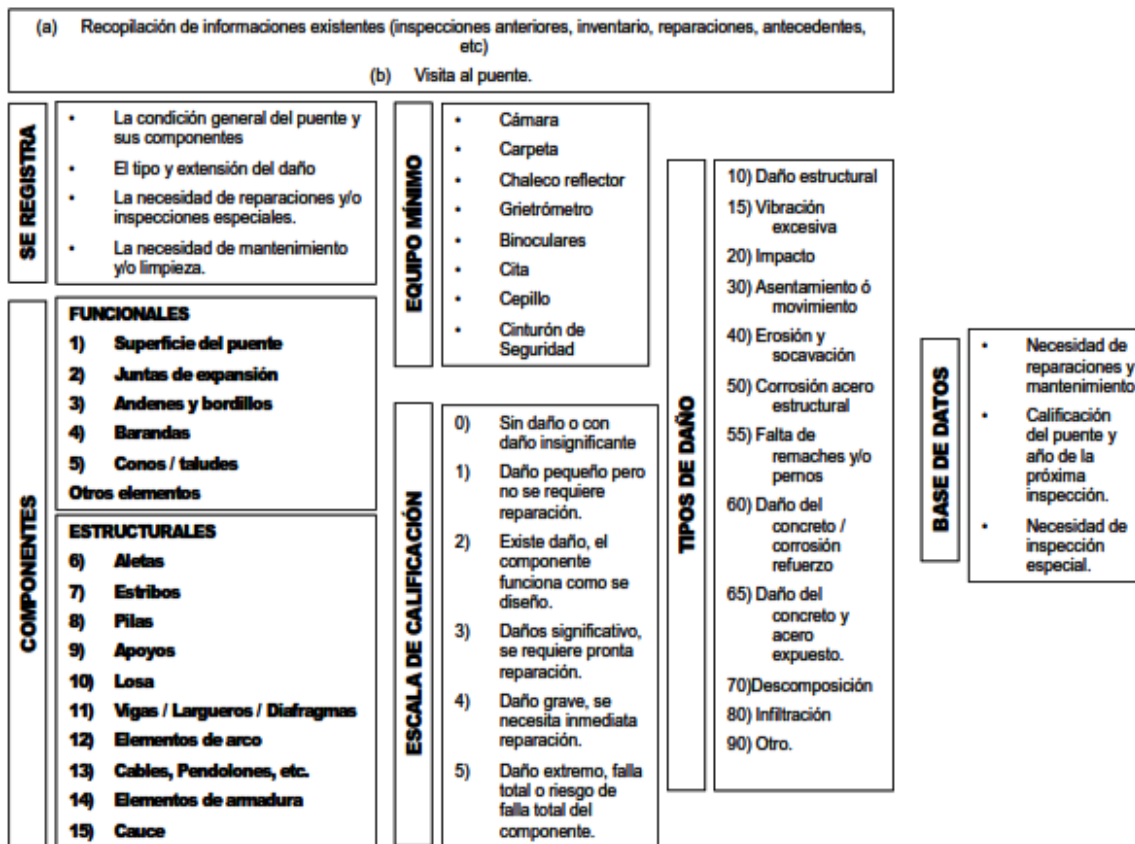


Ilustración 70: Etapas de la inspección principal (Instituto Nacional de Vías y Directorado de Carreteras de Dinamarca, 1996) (Parra & Sedano, 2011)

Luego con esta información y teniendo en cuenta que se tienen 3.440 Puentes en Colombia aproximadamente, con esta tarea adelantada se puede establecer los tipos de puente y que necesidad pueden llegar a tener, priorizando los monitoreos, es decir, si son muy antiguos requieren más itinerancia de datos con el fin de inspeccionar de una mejor forma su comportamiento, además también es importante tener en cuenta la sismología en Colombia ya que esta sería una alerta que puede producir daños en diferentes grados, luego con el sistema se puede priorizar que puentes requieren de atención inmediata.

Posterior a identificar el puente y sus requerimientos es importante definir qué tipo de monitoreo es más conveniente con el fin de unificar el método para todos los puentes, para lo cual se realiza el estudio de las técnicas existentes, el siguiente flujo presencial explica cómo se lleva a cabo en la actualidad el seguimiento a un puente en Colombia, y seguido se explica cómo sería el flujo con monitoreo.

10.FLUJO PRESENCIAL Y FLUJO CON MONITOREO

10.1. Flujo Presencial



Ilustración 71: Imágenes tomadas de (Deposit Photos, 2018)

10.1.1. Presencial

El Instituto Nacional de Vías (INVIAS) es el encargado de mantener las vías en buen estado con el fin de garantizar el tránsito vehicular sin interrupción, es por esto que el Instituto nombra administradores viales con el fin de inspeccionar personalmente cada ruta del país.

10.1.2. Inspección

Esta inspección es realizada por los administradores viales quienes deben ser Ingenieros con conocimientos en vías para poder identificar los daños que se puedan presentar, pero cabe anotar que para los puentes no es suficiente un profesional en ingeniería ya que son estructuras con detalle por lo cual es preciso contar con un especialista que identifique los daños con claridad, incluso estos ingenieros pueden detectar daños, pero sus conceptos llegan a ser subjetivos, por esta razón se crea el SIPUCOL que es el encargado de la revisión de los puentes vehiculares del país y así poder aunar en los detalles que requieren estas estructuras.

10.1.3. Registro

Luego de encontrar fallas e inconsistencias en alguno de los puentes es necesario tomar registro de las fallas y los elementos que se piensan no están en buen estado, además es importante revisar en el SIPUCOL el historial del puente con el fin de identificar sus comportamientos.

10.1.4. Toma de Datos

Las prácticas convencionales de inspección de puentes y detección de daños son primordialmente en forma visual. Estas prácticas son muy importantes ya que en forma directa permite conocer el estado de los componentes estructurales que constituyen un puente, en qué partes se presentan daños o deterioros y qué medidas correctivas se debe implementar. Sin embargo, si solamente la inspección visual es empleada, ésta tendría ciertas deficiencias tales como: a) únicamente las partes accesibles a la vista pueden ser inspeccionadas; b) los resultados de la evaluación son cualitativos, y de alguna forma, podrían ser subjetivos; c) no se puede conocer el estado global del puente como un todo ante la acción de cargas, ni predecir y detectar fallas en el comportamiento durante la operación. La inspección visual demanda un gran esfuerzo humano si la estructura es compleja y extensa; si la estructura posee partes de difícil acceso, se necesitaría de quipos especiales y también el inspector tendría que asumir un gran riesgo para realizar tal trabajo.

Aunque para hacer revisiones más profundas de la estructura se cuenta con métodos tales como el uso de ondas acústicas, métodos basados en el ultrasonido, campos magnéticos, rayos infrarrojos, radiografías, etc., e inclusive métodos directos como la extracción de núcleos para ensayos de resistencia, todos éstos necesitan de un conocimiento a priori de la localización de la zona dañada y que este lugar sea accesible.

Detectada la falla, es indispensable realizar un registro más exacto de donde se cree están los daños dentro de los cuales está:

10.1.5. Daños en Puentes de Concreto

- Daños por diseño

- Fisuras
- Aplastamiento Local
- Asentamientos
- Volcamiento
- Vibración excesiva
- Daños por construcción
 - Hormigueros
 - Segregación
 - Fisuración por retracción
 - Construcción inadecuada de juntas frías
 - Recubrimiento inadecuado y exposición del acero de refuerzo
- Daños durante el funcionamiento
 - Infiltración y Eflorescencias
 - Carbonatación
 - Corrosión de la armadura
 - Contaminación del concreto
 - Fallas por impacto
 - Socavación

10.1.6. Daños en estructuras metálicas

- Corrosión
 - Corrosión leve
 - Corrosión media
 - Corrosión severa
- Pintura deteriorada
- Daños en cables y pendolones
 - Pérdida de recubrimiento de los cables
 - Pérdida de tensión de cables y pendolones
 - Fisuras de los alambres
 - Fisuras de los muertos y contaminación en la zona de los anclajes
- Daños de perfiles metálicos, torres y miembros de armaduras

- Pandeo local
- Pandeo general lateral
- Fisuras en vigas longitudinales y transversales
- Fallas por impacto
- Deflexión excesiva
- Daños en las conexiones
 - Ausencia o mal estado de los conectores
 - Excentricidades
 - Fallas por tensión en la platina
 - Aplastamiento de la platina
 - Falla por desgarramiento
 - Falla por corte en el conector
 - Falla por bloque de cortante
 - Rotura de la soldadura

10.1.7. Procesar datos

La interpretación de estos daños puede conllevar al estudio de apertura de un proceso licitatorio y depende del daño puede ser una licitación por emergencia, menor cuantía o licitación pública.

10.2. Flujo con monitoreo



Ilustración 72: Imágenes tomadas de (Deposit Photos, 2018)

Es notorio que el flujo con monitoreo es más corto, es decir que requiere menos interferencia de personal y más interferencia de tecnología, lo cual se ve reflejado en datos más veraces con los cuales se puede sacar conclusiones mucho más eficientes y lo más importante ganando tiempo para no ver la pérdida de tiempo en daños irreparables, reflejados en pérdidas económicas.

10.2.1. Monitoreo

“Ante estas limitantes se plantea la necesidad de formular métodos que puedan ser aplicados a estructuras complejas y que el desarrollo de tales métodos permita examinar su estado global en forma cuantitativa, e incluso en forma continua y en tiempo real. De aquí nace la metodología denominada “Monitoreo de Salud Estructural Basado en Vibraciones”. El concepto que subyace esta metodología es que, si se presentan daños en la estructura, conceptualmente éstas modificarían las propiedades mecánicas tales como la masa, la rigidez, el amortiguamiento, las frecuencias de vibración (i.e., parámetros modales) y, en consecuencia, afectarían a las características vibratorias de las estructuras. Si existe una buena resolución espacial en cuanto a la distribución de sensores, y si el método de procesamiento de señales e identificación de parámetros dinámicos es lo suficientemente robusto

como para extraer todos estos cambios a partir de las señales de vibración captadas, el monitoreo de la salud estructural y la identificación de daños sería factible midiendo únicamente las vibraciones de la estructura. Éste ha sido el foco de esfuerzo en la investigación de los últimos años; la idea principal es lograr detectar daños a una edad temprana para así realizar reparaciones a tiempo y evitar que éstos sean la causa de un eventual desastre.

Por las razones anteriormente mencionadas, la instrumentación y monitoreo de salud estructural de puentes se vislumbra como una alternativa con un gran potencial, la cual se viene implementando a nivel internacional para complementar las evaluaciones visuales que se realizan en puentes. Aunque es un campo de poco estudio en nuestro país, es importante iniciar el trabajo de investigación en esta área para que estos conocimientos y experiencias acumuladas a nivel internacional puedan aplicarse en la realidad de nuestro país. " (Programa de Infraestructura del transporte (PITRA), 2013)

10.2.2. Registro

Para el registro del flujo con monitoreo evidentemente como se ve en la gráfica es más sencillo que el flujo presencial ya que nos estaríamos ahorrando tiempo, representado en dinero en cuanto a la inspección visual, por lo cual en esta etapa lo único que se debería realizar es estar atentos a las alertas que pueda arrojar los instrumentos y así poder identificar oportunamente cuando una estructura requiere intervención, se recomienda estar atentos a los comentarios que puedan expedir los Administradores Viales, ya que ellos seguirían desempeñando su papel por las vías del país, pero la única diferencia es que la incertidumbre con respecto al estado de los puentes se puede mitigar y suprimir las suposiciones emanada por los Administradores viales.

Luego de detectar alguna alerta es importante que un especialista se desplace hacia la estructura que se encuentra en problemas con el fin de dar un dictamen del estado del Puente.

10.2.3. Procesar Datos

Es importante poder interpretar los datos a tiempo, para lograr intervenir las estructuras cuando lo requieran y así poder justificar la inversión que se realizó al implementar este sistema en cuanto al ahorro en tiempo de profesionales y desgaste en recorridos innecesarios.

10.3. Monitoreo de Puentes

Los métodos modernos de análisis de confiabilidad han sido desarrollados desde finales de 1960 (Nowak & Szerszen) citados por (Muñoz E. E., 2012), quienes se han basado en la teoría de probabilidad y estadística. Sin embargo, la corriente que estudió la seguridad en el diseño y la construcción de estructuras fue resultado de una evolución. Las aplicaciones prácticas de los análisis de confiabilidad fueron posible gracias al trabajo pionero de Cornell, Lind y Ang a finales de la década de 1960 y a principios de 1970. Cornell propuso un índice de confiabilidad de segundo momento en 1969. Hasofer y Lind (1974) formularon una definición de la invariante en el formato de índice de confiabilidad (ver (Hasofer & Lind, 1974)). Posteriormente (Rackwitz & Fiessler, 1978) formularon un procedimiento numérico eficiente para el cálculo del índice de confiabilidad estructural. Otras contribuciones por diferentes autores fueron importantes en esta área, tales como: Veneziano, Rosenblueth, Esteva, Turkstra, Mases y Ang.

Por otro lado, las bondades matemáticas que conlleva un estudio de confiabilidad estructural son importantes a la luz de una serie de deficiencias manifiestas, por ejemplo en Europa, de acuerdo con un informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), donde se establecen deficiencias estructurales con base en materiales o métodos antiguos de estimación de cargas. Por las ventajas de esta metodología se han realizado diversas investigaciones para la evaluación de los puentes existentes empleando las técnicas de confiabilidad estructural, cuya metodología se ha constituido en una herramienta muy importante para lograr acercarse a la respuesta estructural de este tipo de obras que hacen parte de la infraestructura vial. En la Tabla 20 se presentan algunos de los puentes en el mundo que han tenido estudios mediante técnicas de confiabilidad estructural

y parte de los resultados obtenidos. Igualmente en Colombia se han realizado algunos estudios de confiabilidad estructural de puentes existentes, los cuales se enumeran en la Tabla 21

Nombre del puente	Localización y descripción	Breve descripción/Resultados	Fuente
Puente Curvo 50-2	Carretera Hostalric-Blanes sobre la autopista A-7 en España. Antiguo paso superior, que es continuo de cuatro luces de concreto preesforzado con una losa aligerada.	Su estudio incluyó: la evaluación de las propiedades mecánicas de sus materiales, su nivel de degradación, revisión de la geometría general y estructural, estudio aproximado del tráfico, entre otras. Se encontró que los refuerzos de acero son adecuados y en algunos casos superiores a los estrictamente necesarios, teniendo en cuenta que se obtuvieron índices de confiabilidad (β) del orden de 7,5 mayores a los rangos admisibles.	(Sobrino, Metodología de evaluación estructural de puentes existentes de hormigón. Aplicación a un caso real., 1993)
Carlet	Puente construido en concreto reforzado, que es un tablero formado por 25 tramos biapoyados de 8,5 m de luz.	Fue diseñado para soportar cargas menores a las actuales y presentó grados de deterioro importantes. Se realizó la caracterización real de la respuesta estructural mediante el estudio de sus materiales y sus sollicitaciones reales. Para el caso del tráfico se asumió una distribución de cargas típica para las carreteras regionales de España. Se concluyó que las técnicas de confiabilidad estructural son herramientas apropiadas para determinar la respuesta estructural de puentes existentes que hayan sido diseñados aun para normativas fuera de vigencia. Para evaluación de estructuras antiguas, el uso directo de los coeficientes de seguridad de normas vigentes no se debe aplicar.	(Sobrino & Casas, Técnicas de evaluación de puentes existentes mediante criterios de fiabilidad. Aplicación a un puente de hormigón armado, 1993)
Estudio de las vigas de diez puentes	Estado de Michigan, EE.UU. Se determinó el valor β para momento y cortante, en cinco puentes de acero y cinco puentes de concreto.	La seguridad y la confiabilidad de estos puentes se evaluaron mediante algoritmos de confiabilidad. Los valores de β para momento oscilaron entre 3,6 y 5,8. T. Los valores de β para cortante oscilaron entre 4,9 y 8,1. Los valores de β para puentes de acero tuvieron tendencias muy similares con los de concreto.	(Reynaldo, 2008)
Puente de Alemania	Estructura de una luz de 25 m con un tablero de 12 m de ancho compuesto de dos vigas de concreto.	Se realizaron análisis de confiabilidad para los estados límites de cortante, flexión y fatiga encontrando que tienen índices de seguridad mayores de 48 (aceptables).	(Schnetgoeke & Hosser, 2002)

Tabla 20: Lista de algunos de los puentes en el mundo que fueron evaluados utilizando técnicas de confiabilidad estructural. (Muñoz Díaz, Confiabilidad estructural, 2012)

Número	Nombre del puente	Localización	Fuente
1	Luis Ignacio Andrade	Honda – Río Hermitaño	Documento del INVIAS (Pedelta, S.A, 1999)
2	Salgar	Honda – Río Hermitaño	Se presenta en el capítulo 3 (Muñoz Díaz, Confiabilidad estructural, 2012) en (Muñoz E. E., Ingeniería de Puentes. Reseña histórica, tipología, diagnóstico y recuperación., 2012) y en (Muñoz Díaz, Ingeniería de Puentes. Colapso, inspección especial, socavación, vulnerabilidad sísmica y capacidad de carga., 2012)
3	Cajamarca	Ibague – Armenia	Se publicó en (Muñoz, Rodríguez, Nuñez, Otálora, & Ramos, 2008) y (Muñoz, Rodríguez, Nuñez, Otálora, & Ramos, Vulnerabilidad sísmica del puente Cajamarca basada en confiabilidad estructural y apoyado en monitoreo e instrumentación., 2009)
4	Viaducto César Gaviria Trujillo	Pereira - Dosquebradas	Se presenta en el capítulo 4 (Muñoz Díaz, Confiabilidad estructural, 2012) y se publicó en (Muñoz, Rodríguez, Nuñez, Otálora, & Ramos, Vulnerabilidad sísmica de un puente atirantado basada en confiabilidad estructural y apoyado en monitoreo e instrumentación., 2009) y (Muñoz, Rodríguez, Nuñez, Otálora, & Ramos, Vulnerabilidad sísmica de un puente atirantado basado en confiabilidad estructural y apoyado en monitoreo e instrumentación, 2010)

Tabla 21: Lista de algunos puentes nacionales que han tenido estudios de confiabilidad estructural. (Muñoz Díaz, Confiabilidad estructural, 2012)

10.4. Confiabilidad estructural INVIAS y la Pontificia Universidad Javeriana

“A través de las técnicas de confiabilidad estructural que se expresan normalmente en términos probabilísticos, se identifica la capacidad que tiene una estructura o un elemento estructural para cumplir los requisitos especificados, incluyendo la vida útil de cálculo para las que ha sido proyectado. Los métodos probabilistas utilizados en la confiabilidad representan el paradigma científico en seguridad estructural y permiten incorporar el conocimiento actualizado, sin embargo, con dificultades de aplicación por la escasez de datos estadísticos y el grado de complejidad de los sistemas estructurales. Las estructuras deben proyectarse con grados de confiabilidad apropiados que tengan en cuenta los recursos económicos y que estén preparados para soportar las acciones y condicionantes que puedan ocurrir durante su ejecución y uso. Además, se conciben para que sea una estructura durable, con

el adecuado mantenimiento y con una seguridad pertinente frente a acciones accidentales.

Generalmente brindan mayor conocimiento y un ahorro significativo en la determinación de capacidad estructural de puentes existentes, comparado con los costos generados si se aplicara el método descrito en la normativa vigente de diseño en cada país”. (Muñoz Diaz, 2012)

11.METODOLOGÍA

La metodología que se llevara a cabo está integrada por un análisis cuantitativo y cualitativo, a fin de lograr identificar bajo estos dos escenarios la importancia que puede llegar a tener este desarrollo tecnológico para luego identificar el comportamiento basado en la opinión de personas que están en el sector de la construcción. Bajo el análisis cualitativo, se realizará la metodología PESTEL, el cual desarrollara el entorno Político, Económico, Sociocultural, Tecnológico, Ecológico y Legal los cuales serían afectados por esta instrumentación, luego cuestionando la importancia de las amenazas se construyen las Cinco Fuerzas de Porter, comprendido de proveedores, Clientes, Sustitutos y nuevos entrantes, factores que afectarían la competencia en el mercado. Con el fin de identificar los valores que le competen al Gobierno o los Privados interesados en ejecutar obras de Puentes Vehiculares, se desarrollara el DOFA el cual consiste en detectar las Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas. Con el fin de sintetizar los factores anteriores se realizará una matriz de priorización correspondiente al análisis cuantitativo, además se tiene en cuenta el estudio desarrollado anteriormente evaluando los factores técnico, económico, módulo del sistema de administración de puentes, Flujo presencial y Flujo con monitoreo.

11.1. Análisis Cualitativo

11.1.1. Metodología PESTEL

Esta metodología se ejecuta a fin de lograr identificar oportunidades y amenazas de los factores que influyen dentro del desarrollo de la Instrumentación, el cual finalmente arroja un plan estratégico, desembocando en el análisis del entorno, luego lograr entenderlo.



11.1.1.1. Intereses del Gobierno

Luego de la investigación adelantada, no fue posible identificar el por qué el Gobierno no exige estos beneficios basados en la instrumentación, el cual mundialmente ya existe, además se evidencia el beneficio tanto económico como en Salud Estructural beneficiando a la población.

11.1.1.2. Manejo del Comercio Exterior

Este manejo es importante debido a que los equipos que se deben implementar tienen su consecución en el exterior, por este motivo es indispensable mantener una entrada libre al país a fin de lograr la instrumentación requerida.

11.1.1.3. Costo de Instrumentación

Ya se identificó que el costo beneficio con respecto a la compra de lo requerido para el monitoreo es positivo, por lo cual se justifica la instalación.

11.1.1.4. Costo calibración

Tener los equipos calibrados desempeña un papel muy importante a la hora de captación de datos ya que de esto depende la precisión de la información a

procesar, por lo cual se recomienda seguir las recomendaciones del distribuidor del equipo. Para este caso los instrumentos que se usaran no van a tener mucho movimiento, aunque todos los equipos tienen un manejo y funcionamiento personalizado, se puede hablar que el costo de la calibración puede estar entre un 3% del valor del equipo.

11.1.1.5. Costo procesamiento de datos

Tal como se expuso en el numeral anteriormente se requiere de un equipo donde se procese y se almacenen los datos, servidor donde se debe procesar y almacenar los datos recopilados, teniendo en cuenta que se puede llegar a monitorear la mayor cantidad de puentes posibles y así este costo se justificará.

11.1.1.6. Sobrecostos por atención no oportuna

Luego de estudiar todos los posibles colapsos se evidencia que, en la mayoría de los casos, los daños son irreparables, por lo cual estos sobrecostos aparecen justo en estos momentos de falta de atención, ya que, si se logra detectar a tiempo y se procede a realizar la rehabilitación o mantenimiento, se evitarían estos colapsos que conllevan a grandes sobrecostos. Ver Grafica Gráfica 14: Gastos utilizables vs gastos perdidos.

11.1.1.7. Presentación de su importancia evitando daños

Así como en todos los proyectos que se realizan en el país, la socialización es un paso importante, a fin de dar conciencia y parte de tranquilidad a la sociedad quienes finalmente son los directamente beneficiados, pero en muchas ocasiones es la misma sociedad quien busca el interés particular y no el interés común, al hacer daño a las estructuras, donde se puede ver desde el robo de piezas hasta desvíos de causas lo cual lleva a socavaciones.

11.1.1.8. Conciencia por robo

Como se mencionó anteriormente, la importancia de realizar la reunión de socialización a cada uno de los proyectos que se ejecutan, para que las personas que van a ser los directamente beneficiados tomen conciencia de lo que estos proyectos traen para el avance económico entre regiones, luego concientizarlos de darles buen uso, no robarse las piezas y además de preservarlo su integridad para lograr su funcionamiento durante su vida útil proyectada.

11.1.1.9. Señal de datos para la tarjeta de Red

A pesar de encontrarnos en pleno siglo XXI, actualmente en Colombia no se cuenta con un cubrimiento del 100% de datos, problema probablemente asociado a la geografía y a la falta de señal a lo largo de todo el territorio colombiano. Es importante antes de su instalación tener señal en el punto de la estructura ya que de esto depende el envío de datos en tiempo real luego procesar y tener los datos requeridos.

11.1.1.10. Panel solar para carga

Por las características de funcionamiento es importante instalar este equipo en un lugar visible a la luz del sol con el fin de lograr su carga, se debe buscar la manera de dejar seguro este aparato y así evitar daños y robos.

11.1.1.11. Calibración de equipos

Acción importante a fin de tener los datos más exactos posibles, para esta acción se tendrá en cuenta las recomendaciones del proveedor de los equipos. Revisar numeral 8.7.3.3.

11.1.1.12. Procesar datos en tiempo real

Esta acción se deja programada para procesar los datos, a pesar de quedar programado, se requiere de revisión periódica a fin verificar que se estén depurando los datos como se requiere.

11.1.1.13. Baja contaminación

Por su composición posiblemente sea contaminante, pero se debe tener en cuenta que el uso que se le va a dar es a tiempo prolongado entonces se compensa esta contaminación

11.1.1.14. Energía mediante paneles solares

Tratándose de una energía renovable, es ecológicamente viable y además independiente de la red eléctrica, evitando de este modo estar conectado a una red con alta incertidumbre de fallas por su posible intermitencia de energía, lo que puede conllevar a intermitencia en toma de datos para su recepción en tiempo real, lo cual afectaría significativamente el fin del procesamiento de datos.

11.1.1.15. Hermetismo ante inclusión

Entendiendo que esta implementación es de gran ayuda para las entidades a cargo de las estructuras de puente vehiculares en Colombia, no se tiene claridad en por

qué no se ha logrado la implementación teniendo en cuenta que esta tecnología ya existe y se encuentra en funcionamiento en varias partes del mundo, tal vez sea conflicto de conocimiento y preocupación por aunar en este tema y así lograr la implementación, aunque el departamento de proyectos e innovación del Instituto Nacional de Vías Invias ya se encuentra en estudios, sin tener certeza de que se trata, ya están tocando el tema de instrumentación en estructuras.

11.1.2. Fuerzas competitivas de Porter



Ilustración 73: Cinco fuerzas competitivas de Porter para el Monitoreo electrónico en tiempo real

- **Amenaza de nuevos participantes:** Es claro que hasta el momento no se conoce un rival directo en Colombia, aunque al existir en otros países es evidente que se puede tomar la referencia y simularlo, por lo tanto, se convierte en una amenaza alta. Por su facilidad de entrada es importante al realizar la implementación de una manera sólida, sustentada en una recolección y análisis de datos contundente y así poder siempre estar por encima de cualquier entrante.
- **Poder de compradores:** luego de persuadir al cliente, este poder de compradores es muy alto ya que se tiene un solo cliente potencial.
- **Poder de proveedores:** el origen de los instrumentos requeridos proviene del exterior, aunque en Colombia se puede conseguir, es evidente que el costo es más elevado a causa de la importación, por este motivo es importante la consecución en el exterior.
- **Productos sustitutos:** se podría entrar en un retroceso ya que se utilizarían los instrumentos convencionales que se implementan para monitoreo el cual sería presencial sin automatización, pero estos no cumplirían con las expectativas de la recolección de datos en tiempo real ya que no se justifica realizar esta recolección manual inexacta e intermitente.
- **Competir por posicionamiento:** Existen empresas con la capacidad de consecución de estos instrumentos, pero a precios fuera de lo que se espera para realizar la implementación, basados en otros proveedores que, aunque la brecha es la distancia, se puede realizar cronograma para el cumplimiento de la entrega de esta instrumentación.

11.1.3. Matriz DOFA

Luego de realizar el análisis de las cinco fuerzas de Porter, se puede interpretar el comportamiento que tendría esta implementación en Colombia, ahora mediante el análisis DOFA lo que se quiere lograr es detectar las características propias que contiene esta implementación, por medio de extracción de Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas. Esto se realiza con el fin de detectar que tan difícil sería entrar en funcionamiento. Esta información se basa en las encuestas y entrevistas realizadas.



Gráfica 17: Matriz DOFA

La matriz DOFA tiene como fin detectar las características de la instrumentación, luego poder saber cuáles son las debilidades que se deben superar, las fortalezas, las cuales compensan con las debilidades, superando las amenazas se llega a satisfacer el funcionamiento de la implementación y las oportunidades deben ser aprovechadas para lograr persuadir a todos los mercados que les sería útil esta tecnología.

Como conclusión del análisis DOFA:

- El número de debilidades es igual al número de fortalezas lo que traduce un balance en donde las fortalezas pueden apalancar las debilidades.
- El número de amenazas es menor que las oportunidades, con lo cual se tomaran las oportunidades para lograr disipar las amenazas teniendo en cuenta que esta instrumentación es un nuevo entrante a la tecnología de Colombia.

11.2. Análisis Cuantitativo

11.2.1. Método utilizado

Abarcando todo el estudio de colapso de puentes y de la mitigación que existe actualmente en Colombia es posible realizar un estudio económico con el fin de identificar cuál de las alternativas existentes es más factible, es importante aclarar que la parte interesada en este estudio sería el Estado quienes están a cargo de las vías del país y algunos privados, luego, teniendo en cuenta que es el Estado el directamente interesado, se realiza el estudio de los dos escenarios existentes en la actualidad para la salud estructural de los puentes en Colombia.

11.2.2. Técnico

Según la investigación realizada, se puede ver que existen dos formas técnicas de llevar a cabo la inspección de los puentes, una de ellas es como se está practicando en la actualidad la cual corresponde a la inspección visual y netamente subjetivo, es decir que este método depende en su totalidad de los conceptos de cada Ingeniero Civil encargado de cada vía en este caso como se mencionó, son los administradores viales los encargados de ejecutar esta inspección constante y por otro lado, está la inspección mediante monitoreo en tiempo real, la cual aunque existen dos puentes que ya cuentan con esta implementación de equipos, no tienen los computadores y el servidor para captar y almacenar datos, además que según información extraoficial, ya se han robado equipos de uno de los puentes que ya está instrumentado. Teniendo en cuenta el estudio, es evidente que el método por instrumentación es el más efectivo ya que no depende primordialmente de los conocimientos de una persona, sino que de esta manera se están obteniendo datos certeros para poder realizar el análisis y poder actuar de una manera más confiable.

11.2.3. Económica

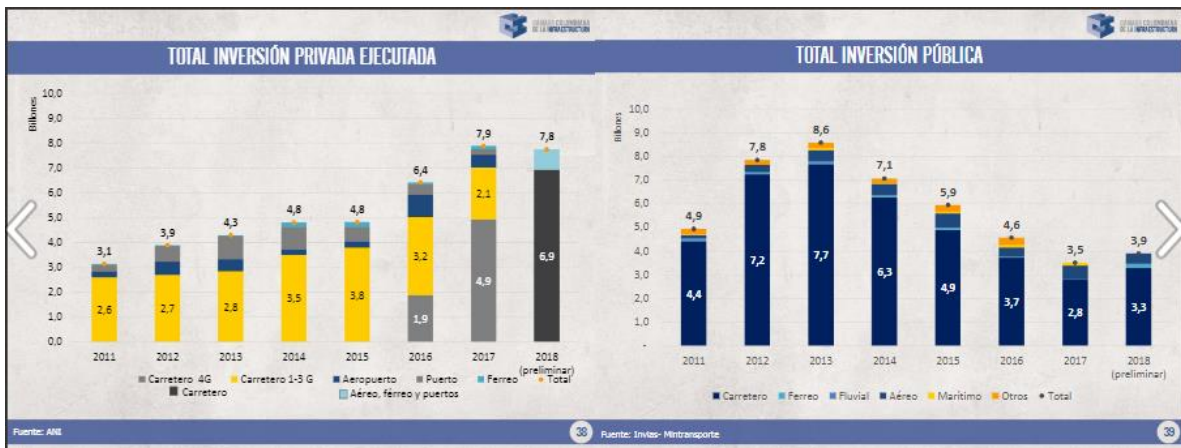
Teniendo en cuenta la economía de nuestro país, es importante mencionar la capacidad que puede llegar a tener para la inversión en infraestructura, para esto la Cámara Colombiana de la Infraestructura cuenta con una bitácora de la Infraestructura 2018, la cual refleja los valores y los índices que se tienen en

Colombia, de esta manera a continuación se muestra la inversión que ha tenido el país durante los últimos 18 años:



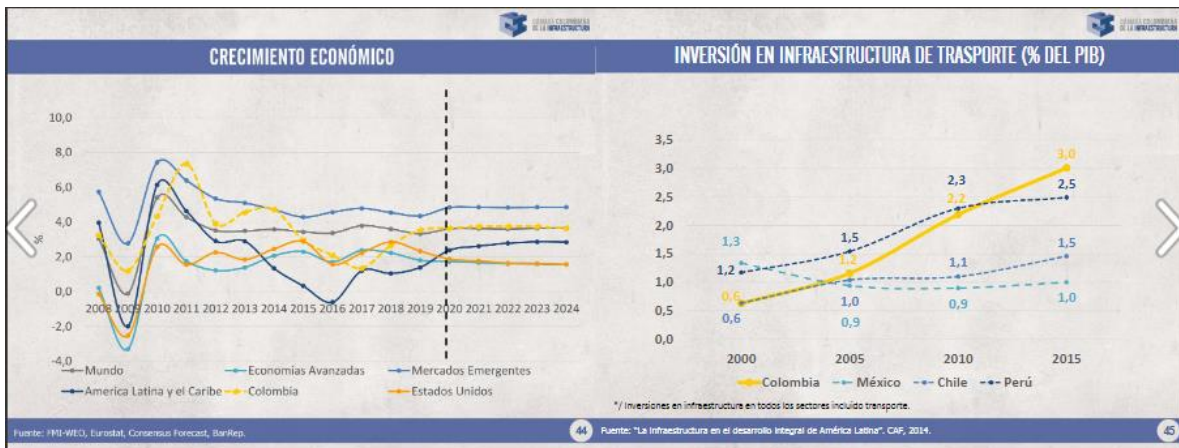
Gráfica 18: Inversión total de la economía (2005-2019). (Camara Colombiana de la Infraestructura, 2019)

Proyectando la Gráfica 18 a los próximos años y según su comportamiento se puede decir que la inversión en infraestructura va en ascenso por lo cual se tiene más posibilidad de inversión en Obras Civiles tal como lo podemos ver en las siguientes gráficas:



Gráfica 19: Inversión a la Infraestructura privada y pública. (Camara Colombiana de la Infraestructura, 2019)

Es importante resaltar que los puentes en su mayoría son potestad de la Nación es decir que es el Estado quien dispone de su construcción, rehabilitación y mantenimiento, por esta razón nos debemos centrar en la inversión al sector público, viéndolo con preocupación ya que va en decadencia desde su última alza que fue en el año 2013 con 8,6 billones ha caído 4,7 billones a 2018 correspondiente al último reporte con una disminución de un 57% en inversión, pero dentro de esta inversión sería importante integrar presupuesto para el monitoreo de las estructuras ya que como se ha venido mencionando con esto se ahorraría dinero a futuro.



Gráfica 20: Crecimiento Económico e inversión en Infraestructura de Transporte. (Camara Colombiana de la Infraestructura, 2019)

Importante ver que Colombia ha tenido un leve crecimiento económico el cual se podría aprovechar para invertir en proyectos que a futuro tengan un retorno evidente como lo es este proyecto, ya que se haría la inversión correspondiente al inicio, el reflejo del retorno se puede ver a corto plazo ya que se estarían salvando vidas humanas y aumento en recursos por ausencia en emergencias debido a la disminución de colapsos.

Ahora teniendo claro que puede existir la posibilidad de incluir este proyecto dentro del presupuesto, se realiza el estudio para definir cuál de los dos métodos de salud estructural es más conveniente para el país.

11.2.4. Matriz de Priorización

Con esta matriz se busca desarrollar lo analizado anteriormente, detectando factores que llegan a impactar sobre la inexistencia del monitoreo estructural en tiempo real de puentes vehiculares en Colombia.

Al lograr estimar un valor para cada factor realizando comparaciones cruzadas, se logrará saber cuál de los factores es el que más afecta el desarrollo de esta implementación.

Esta matriz tiene como desarrollo, definir el objetivo, identificar las opciones, luego poder elaborar y ponderar los criterios para finalmente comparar las opciones. Culminado el análisis, se debe lograr identificar por qué esta tecnología no está funcionando en Colombia.

- **Objetivo:** Monitoreo de Puentes Vehiculares en tiempo real
- **Opciones:** Se refiere a los factores que se lograron identificar los cuales son obstáculo para esta instrumentación.
- **Objetivos:**
 - Interés del Estado y Privados
 - Robo de Equipos
 - Falta de Presupuesto
 - Legislación
 - Conocimiento
 - Señal de Datos
 - Viabilidad Económica
- **Criterios:**
 - Instalación
 - Fácil consecución
 - Ahorro en tiempo
 - Fácil Procesamiento de Información
 - Impacto Tecnológico
 - Aval del Estado
 - Aseguramiento de Equipos
- **Ponderación de Criterios**
 - 10: El criterio de columna es mucho más importante que el criterio de fila
 - 5: El criterio de columna es más importante que el criterio de fila.
 - 1: Ambos criterios son igual de importantes.
 - 0.2: El criterio de columna es menos importante que el criterio de fila.
 - 0.1: El criterio de columna es mucho menos importante que el criterio de fila.

	Instalación	Fácil Consecución de Equipos	Ahorro en Tiempo	Fácil Procesamiento de Información	Impacto Tecnológico	Aval del Estado	Aseguramiento de Equipos	TOTAL	Ponderación
Instalación		5	5	0,1	0,2	0,1	0,2	10,6	0,079
Fácil Consecución de Equipos	0,2		0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	1	0,007
Ahorro en Tiempo	0,2	5		1	5	0,1	5	16,3	0,122
Fácil Procesamiento de Información	10	10	1		5	1	5	32	0,239
Impacto Tecnológico	5	5	0,2	0,2		0,1	1	11,5	0,086
Aval del Estado	10	10	10	1	10		10	51	0,381
Aseguramiento de Equipos	5	5	0,2	0,2	1	0,1		11,5	0,086
TOTAL								133,9	1

Luego se realiza la calificación de todas las opciones desarrollando cada criterio

Instalación	Interés del Estado y Privados	Robo de Equipos	Falta de Presupuesto	Legislación	Conocimiento	Señal de Datos	Viabilidad Ecológica	Total	Peso relativo
Interés del Estado y Privados		0,2	5	5	0,1	1	0,2	11,5	0,098
Robo de Equipos	5		10	10	5	1	10	41	0,349
Falta de Presupuesto	0,2	0,1		5	5	5	5	20,3	0,173
Legislación	0,2	0,1	0,2		0,2	0,2	0,2	1,1	0,009
Conocimiento	10	0,2	0,2	5		0,2	5	20,6	0,175
Señal de Datos	1	1	0,2	5	5		5	17,2	0,146
Viabilidad Ecológica	0,2	0,1	0,2	5	0,2	0,2		5,9	0,050
TOTAL								117,6	1

Fácil Consecución de Equipos	Interés del Estado y Privados	Robo de Equipos	Falta de Presupuesto	Legislación	Conocimiento	Señal de Datos	Viabilidad Ecológica	Total	Peso relativo
Interés del Estado y Privados		0,2	1	1	1	0,1	0,1	3,4	0,038
Robo de Equipos	5		5	5	1	1	1	18	0,203
Falta de Presupuesto	1	0,2		1	0,2	1	0,1	3,5	0,039
Legislación	1	0,2	1		0,2	5	1	8,4	0,095
Conocimiento	1	1	5	5		1	1	14	0,158
Señal de Datos	10	1	1	0,2	1		0,2	13,4	0,151
Viabilidad Ecológica	10	1	10	1	1	5		28	0,316
TOTAL								88,7	1

Ahorro en Tiempo	Interés del Estado y Privados	Robo de Equipos	Falta de Presupuesto	Legislación	Conocimiento	Señal de Datos	Viabilidad Ecológica	Total	Peso relativo
Interés del Estado y Privados		0,1	1	1	0,1	0,1	0,2	2,5	0,016
Robo de Equipos	10		10	10	5	10	10	55	0,351
Falta de Presupuesto	1	0,1		1	0,1	0,1	5	7,3	0,047
Legislación	1	1	0,1		0,1	0,1	1	3,3	0,021
Conocimiento	10	0,2	10	10		1	10	41,2	0,263
Señal de Datos	10	0,1	10	10	1		10	41,1	0,262
Viabilidad Ecológica	5	0,1	0,2	1	0,1	0,1		6,5	0,041
TOTAL								156,9	1

Fácil Procesamiento de Información	Interés del Estado y Privados	Robo de Equipos	Falta de Presupuesto	Legislación	Conocimiento	Señal de Datos	Viabilidad Ecológica	Total	Peso relativo
Interés del Estado y Privados		0,1	1	1	0,1	10	0,1	12,3	0,082
Robo de Equipos	10		10	10	10	10	10	60	0,399
Falta de Presupuesto	1	0,1		5	1	0,1	0,2	7,4	0,049
Legislación	1	0,1	0,2		0,1	0,2	0,2	1,8	0,012
Conocimiento	10	0,1	1	10		1	5	27,1	0,180
Señal de Datos	0,1	0,1	10	5	1		5	21,2	0,141
Viabilidad Ecológica	10	0,1	5	5	0,2	0,2		20,5	0,136
TOTAL								150,3	1

Impacto Tecnológico	Interés del Estado y Privados	Robo de Equipos	Falta de Presupuesto	Legislación	Conocimiento	Señal de Datos	Viabilidad Ecológica	Total	Peso relativo
Interés del Estado y Privados		0,1	1	5	0,1	1	0,1	7,3	0,044
Robo de Equipos	10		10	10	10	10	10	60	0,364
Falta de Presupuesto	1	0,1		5	1	0,1	10	17,2	0,104
Legislación	0,1	0,1	0,2		0,2	0,1	0,1	0,8	0,005
Conocimiento	10	0,1	1	5		0,1	1	17,2	0,104
Señal de Datos	1	0,1	10	10	10		10	41,1	0,249
Viabilidad Ecológica	10	0,1	0,1	10	1	0,1		21,3	0,129
TOTAL								164,9	1

Aval del Estado	Interés del Estado y Privados	Robo de Equipos	Falta de Presupuesto	Legislación	Conocimiento	Señal de Datos	Viabilidad Ecológica	Total	Peso relativo
Interés del Estado y Privados		10	1	1	1	0,2	1	14,2	0,140
Robo de Equipos	0,1		0,1	1	10	10	10	31,2	0,307
Falta de Presupuesto	1	10		1	1	5	1	19	0,187
Legislación	1	1	1		1	5	1	10	0,098
Conocimiento	1	0,1	1	1		5	5	13,1	0,129
Señal de Datos	5	0,1	0,2	0,2	0,2		0,2	5,9	0,058
Viabilidad Ecológica	1	0,1	1	1	0,2	5		8,3	0,082
TOTAL								101,7	1

Aseguramiento de Equipos	Interés del Estado y Privados	Robo de Equipos	Falta de Presupuesto	Legislación	Conocimiento	Señal de Datos	Viabilidad Ecológica	Total	Peso relativo
Interés del Estado y Privados		0,1	1	1	0,1	0,1	1	3,3	0,027
Robo de Equipos	10		10	1	1	1	10	33	0,270
Falta de Presupuesto	1	0,1		5	1	1	0,2	8,3	0,068
Legislación	1	1	0,2		0,1	0,1	0,1	2,5	0,020
Conocimiento	10	1	1	10		1	1	24	0,196
Señal de Datos	10	1	1	10	1		1	24	0,196
Viabilidad Ecológica	10	0,1	5	10	1	1		27,1	0,222
TOTAL								122,2	1

Tabla 22: Matriz de Priorización

Se realiza una consolidación de las calificaciones determinada por cada criterio y de cada opción. Se toma el peso relativo del resultado de cada criterio:

	Instalación	Fácil Consecución	Ahorro en Tiempo	Fácil Procesamiento de Información	Impacto Tecnológico	Aval del Estado	Aseguramiento de Equipos	TOTAL	Ponderación
Interés del Estado y Privados	0,098	0,038	0,016	0,082	0,044	0,140	0,027	0,445	0,003
Robo de Equipos	0,349	0,203	0,351	0,399	0,364	0,307	0,270	2,242	0,017
Falta de Presupuesto	0,173	0,039	0,047	0,049	0,104	0,187	0,068	0,667	0,005
Legislación	0,009	0,095	0,021	0,012	0,005	0,098	0,020	0,261	0,002
Conocimiento	0,175	0,158	0,263	0,180	0,104	0,129	0,196	1,205	0,009
Señal de Datos	0,146	0,151	0,262	0,141	0,249	0,058	0,196	1,204	0,009
Viabilidad Ecológica	0,050	0,316	0,041	0,136	0,129	0,082	0,222	0,976	0,007
TOTAL								7	0,052

Tabla 23: Consolidación de Criterios Matriz de Priorización

Finalmente se toma el peso ponderado de cada objetivo y se multiplica por el ponderado de los criterios

	Instalación	Fácil Consecución	Ahorro en Tiempo	Fácil Procesamiento de Información	Impacto Tecnológico	Aval del Estado	Aseguramiento de Equipos	Ponderación
Interés del Estado y Privados	0,009	0,000	0,007	0,040	0,008	0,052	0,002	0,118
Robo de Equipos	0,012	0,002	0,003	0,012	0,005	0,003	0,016	0,052
Falta de Presupuesto	0,015	0,000	0,008	0,015	0,012	0,069	0,006	0,124
Legislación	0,001	0,001	0,004	0,003	0,001	0,069	0,002	0,080
Conocimiento	0,015	0,001	0,044	0,067	0,012	0,084	0,017	0,239
Señal de Datos	0,019	0,001	0,049	0,056	0,029	0,039	0,017	0,211
Viabilidad Ecológica	0,008	0,002	0,007	0,046	0,020	0,066	0,026	0,175
TOTAL								1,000

Tabla 24: Resultado Matriz de Priorización

Obteniendo de esta manera que el objetivo más crítico para el desarrollo del proyecto se inclina por el Robo de Equipos, seguido de la Legislación, falta de presupuesto e Interés del Estado y Privados.

12. ANÁLISIS

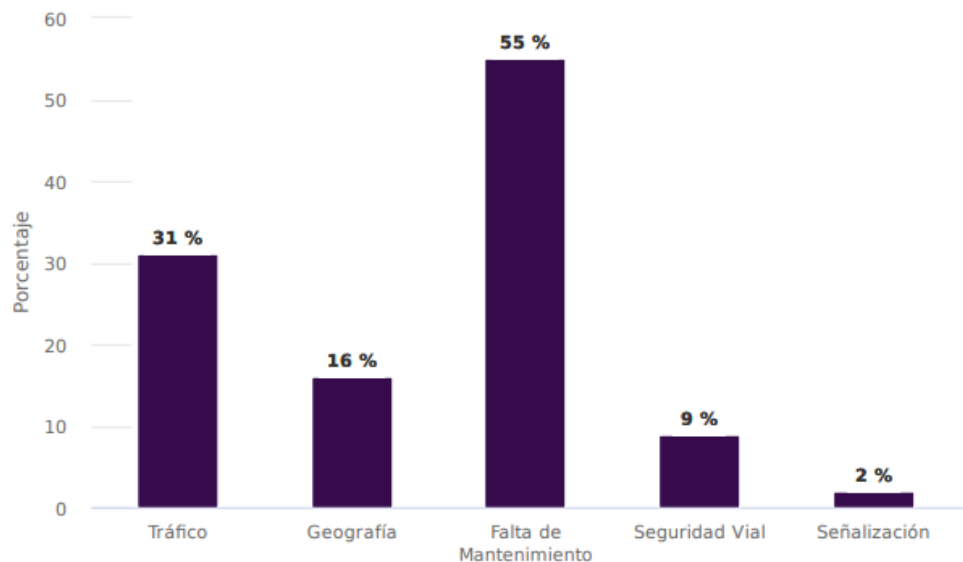
Sabiendo que la teoría es acertada en cuanto la necesidad de mantener monitoreada la salud estructural, también es importante realizar un estudio técnico cuantitativo de investigación, realizando una encuesta a 58 Ingenieros del sector de estructuras a fin de lograr detectar o corroborar lo que se expresó en la teoría. También se realizó una entrevista al director técnico del Invias con el fin de lograr tener información de los avances que se tienen al día con respecto a este monitoreo.

12.1. Encuesta



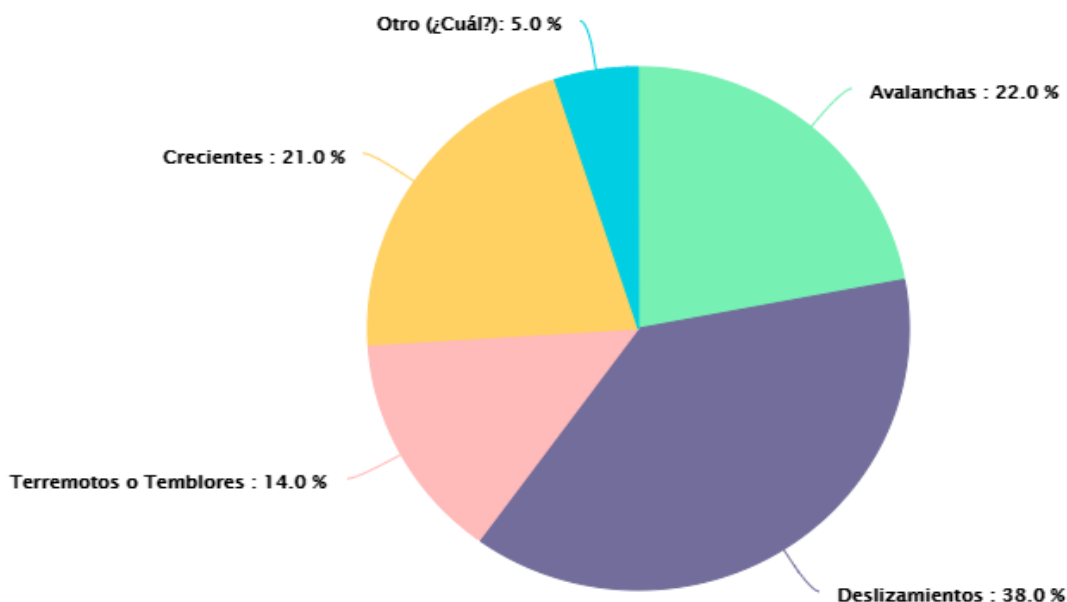
Las especialidades más interesadas en esta implementación son las de Estructuras y Vías las cuales suman un 77%, cantidad significativa para seguir adelante con las preguntas.

¿Cuál considera es el principal problema de Movilidad en Colombia afectado por los Puentes Vehiculares?



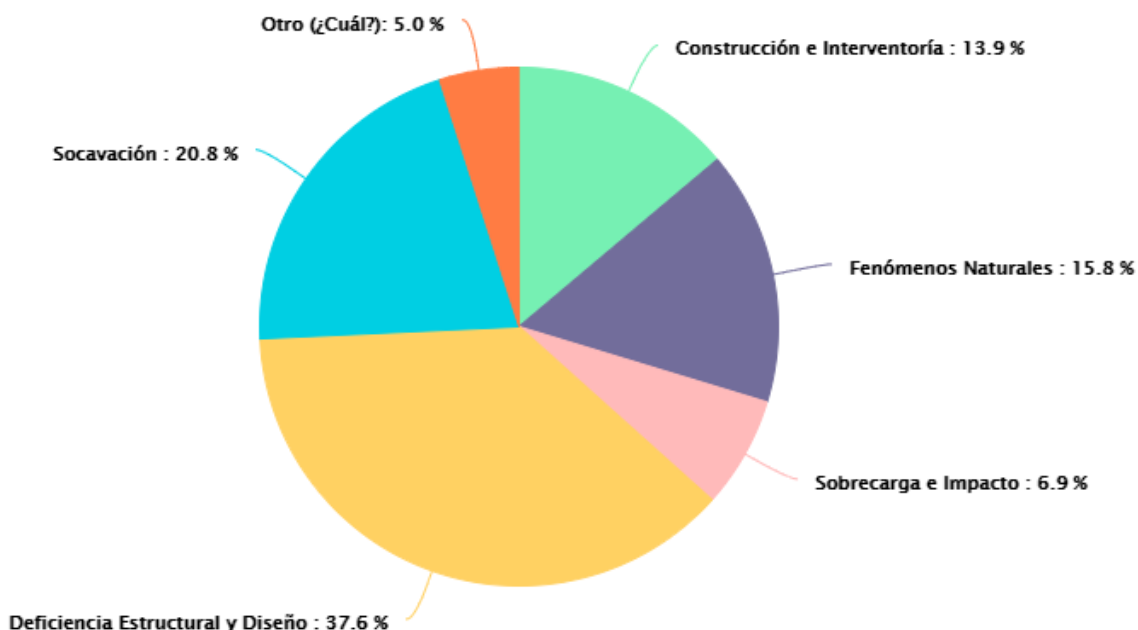
Un 55% de los encuestados coincide en que la falta de mantenimiento es el principal problema de movilidad en Colombia, seguido del tráfico y la Geografía, con esta instrumentación en funcionamiento, se puede decir que se estaría mitigando tanto el 55% de Mantenimiento como el 16% de la Geografía, ya que con la instrumentación se podrían detectar estos dos inconvenientes a fin de mitigarlos oportunamente.

¿Qué fenómeno natural considera más desfavorable para los Puentes Vehiculares en Colombia?



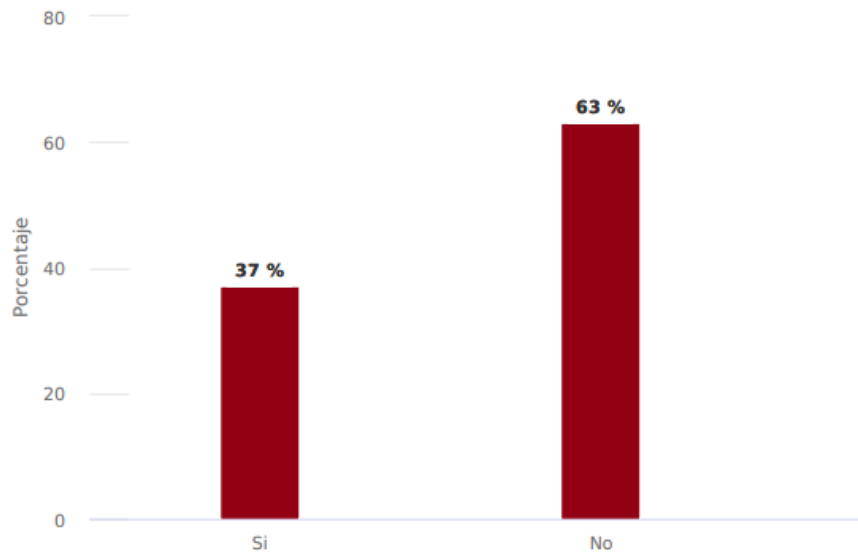
Colombia es un país donde la geografía es un punto a estudiar en cada zona, teniendo en cuenta que en general cada una de las zonas tiene sus particularidades, se requieren tener en cuenta estos factores a fin de lograr el enfoque de las variables que se quieren medir. Siendo consecuentes con las pérdidas ocasionadas por estos fenómenos a lo largo de los tiempos, coinciden en que los deslizamientos y las avalanchas son las razones más potentes para desfavorecer la vida útil de los puentes vehiculares en el país.

¿Cuál considera es la principal causa de colapsos de puentes vehiculares en Colombia?



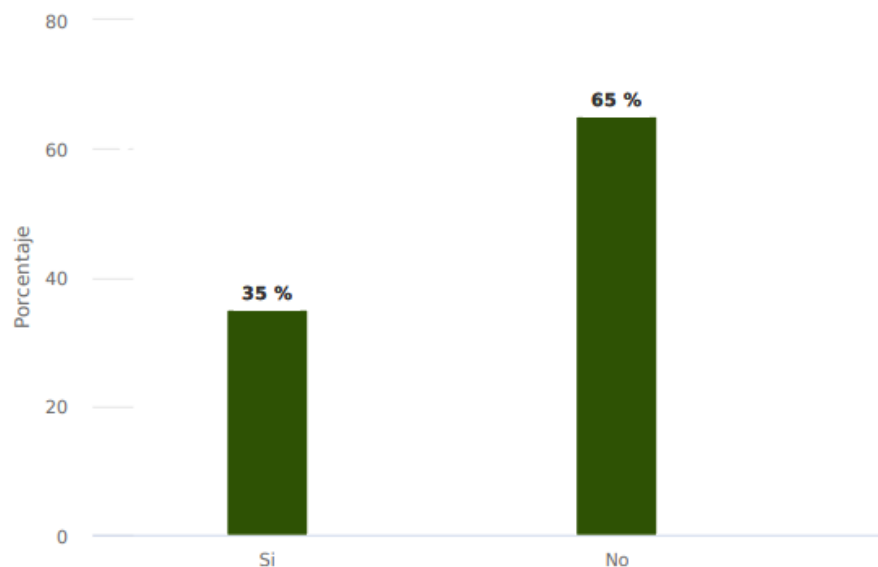
Según los estudios realizados y la gráfica expuesta el Ingeniero Edgar Muñoz (Gráfica 2: Estadística de las causas principales de colapso de puentes en Colombia basada en el inventario de colapsos desde 1987 hasta 2006, suministrada por el INVIAS.), la mayor causa de los colapsos está asociado con los fenómenos naturales, seguido por la socavación posterior deficiencia estructural y diseño, lo cual genera una discrepancia con respecto a las respuestas expuestas en la Encuesta ya que es la deficiencia Estructural y Diseño la principal causa expuesta por los ingenieros entrevistados la cual lleva a la mayor cantidad de colapsos de Puentes, defendiendo esta teoría, en muchas ocasiones tal vez los diseños no abarcan una extensa área de influencia a fin de no tener incertidumbre acerca de los fenómenos naturales y puede ser esta la razón por la cual los ingenieros consideran esta la mayor razón de colapsos en puentes vehiculares.

¿Cree que el proceso para llevar a cabo el mantenimiento y rehabilitación de puentes vehiculares en Colombia es funcional?



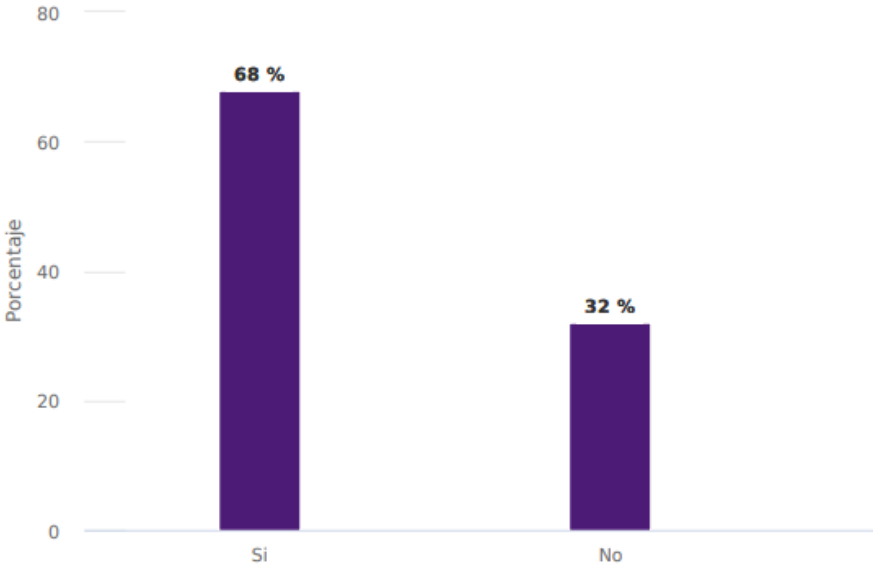
Es evidente que este proceso no es funcional, reflejado en la cantidad de puentes colapsados en Colombia, tal vez los ingenieros que expresaron que si es funcional se basan en la experiencia de la atención inmediata ante los daños de algunos puentes, pero sin tener en cuenta que, si estos mantenimientos y rehabilitaciones se hubieran realizado a tiempo, la vida útil de la estructura se extendería mucho más.

¿Considera económicamente razonable los precios establecidos para realizar los mantenimientos y rehabilitaciones de estos Puentes Vehiculares en Colombia?



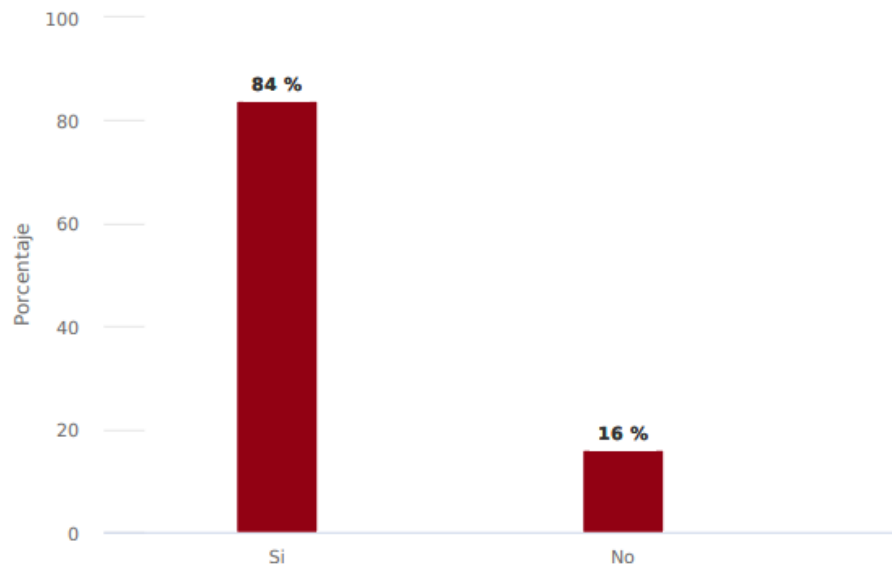
Puede que los precios sean razonables ya que estos se rigen por el Invias para lo cual no tiene cabida la inflación, además que siempre el presupuesto tiende al alza, esto debido a la demora en adjudicar un contrato para iniciar a las rehabilitaciones y mantenimientos conllevando a un mayor deterioro de la estructura debido a la extensión en tiempo para intervenir debido a los procedimientos legales que siempre se tienen que seguir dentro de los lineamientos Estatales.

¿Son confiables los Estudios y Diseños elaborados en Colombia para la construcción de Los Puentes Vehiculares?



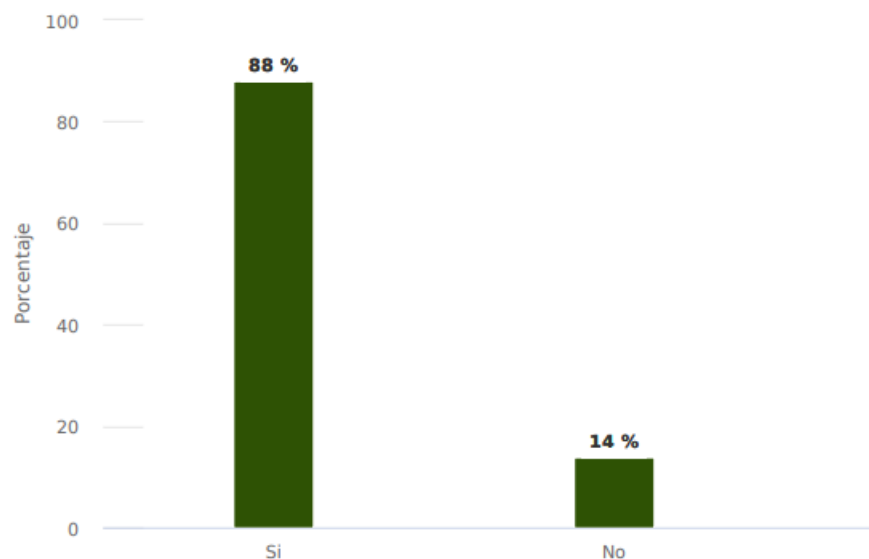
Si y se puede demostrar en la Gráfica 2: Estadística de las causas principales de colapso de puentes en Colombia basada en el inventario de colapsos desde 1987 hasta 2006, suministrada por el INVIAS., donde se especifica que el 18% de los colapsos corresponde a esta causa, por lo cual se puede decir que su confiabilidad es positiva.

¿Confía en los métodos constructivos implementados en los Puentes Vehiculares de Colombia?



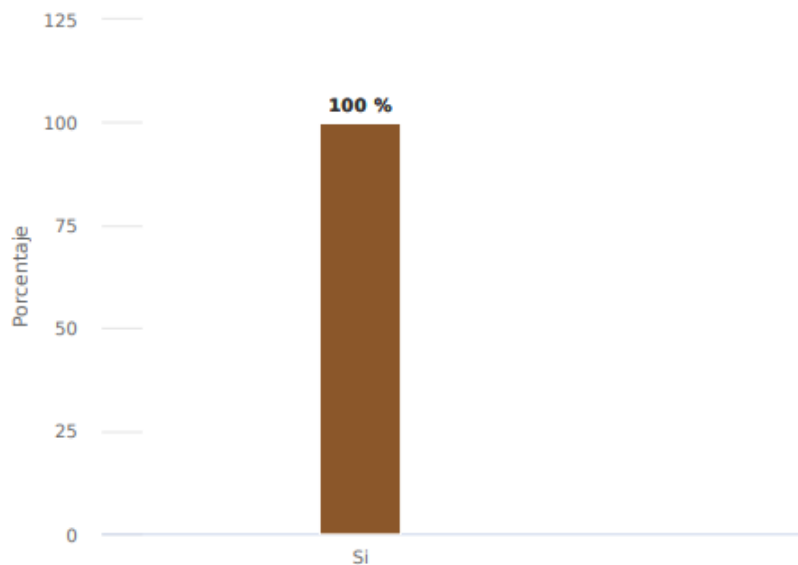
Aunque todos los puentes incluyen una historia particular, es importante destacar que estos métodos constructivos ya existen por lo cual se requiere de buenos cálculos y buena dirección de obra para lograr realizar la construcción de estas estructuras.

¿Cree que los Materiales requeridos e incorporados para la construcción de los Puentes Vehiculares en Colombia son óptimos?



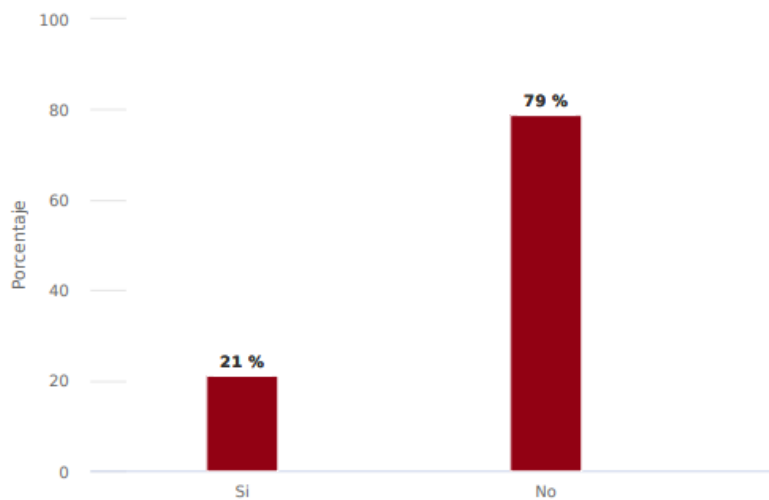
Colombia se caracteriza por la consecución de materiales de muy buena calidad, por lo cual se espera que todas estas estructuras estén siempre conformadas por buenos materiales.

¿Considera que la detección oportuna en daños a Puentes Vehiculares disminuiría la inversión económica a las Entidades interesadas en la construcción de estas estructuras?



Todos los encuestados coinciden en que esta detección oportuna es clave para lograr extender la vida útil de las estructuras.

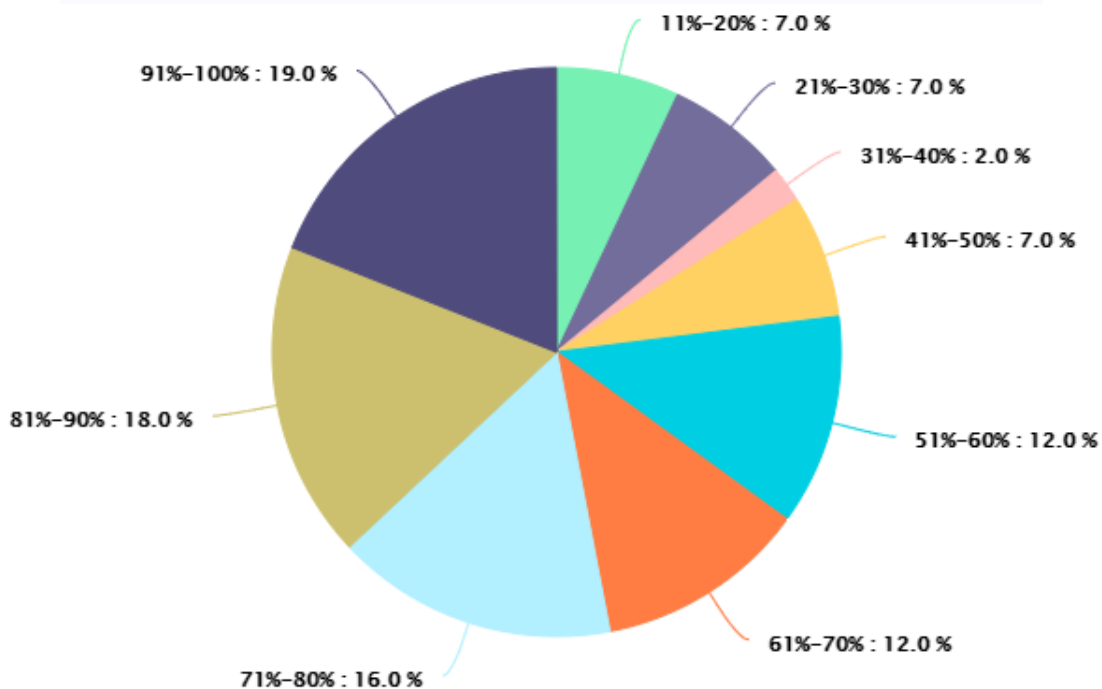
¿Conoce alguna implementación tecnológica en Colombia la cual beneficie la salud estructural de los Puentes Vehiculares?



Algunos ingenieros si fueron conscientes de las inversiones que ha realizado el estado en pocos proyectos referentes a esta implementación tecnológica, es un tema que aún sigue oculto en nuestro país, pero después de la entrevista con el Ingeniero Guillermo

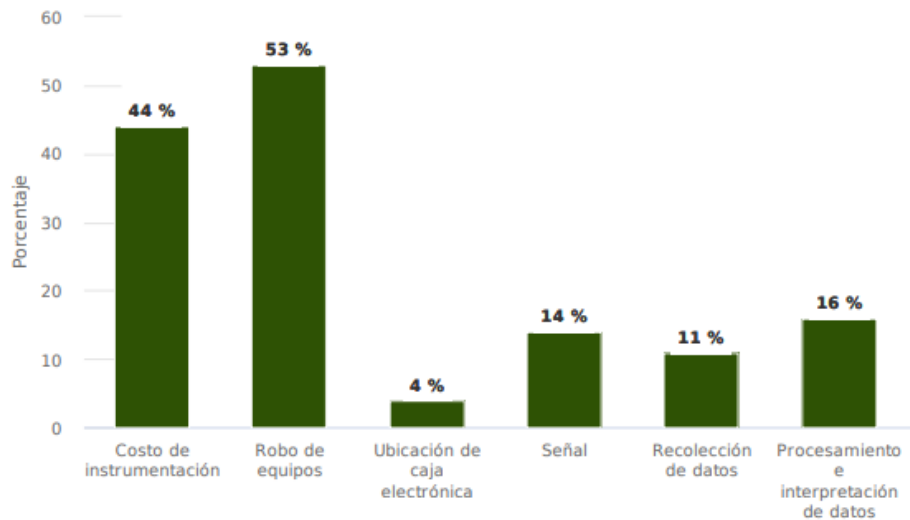
Toro se puede detectar que finalmente se hizo conciencia acerca de la importancia que tiene el monitoreo de estructuras.

¿En qué porcentaje cree que la instrumentación electrónica en tiempo real podría solucionar el problema de colapsos y deterioros progresivos en puentes vehiculares en Colombia, teniendo en cuenta que la recolección de algunos factores en tiempo real podrían ser indicadores de daño y contribuyen a tomar decisiones a tiempo para su oportuna intervención, mantenimiento o reparación?



Del 80% al 100% de la solución, se encuentra un 53% de los encuestados aprobando esta instrumentación por esta razón se hace evidente la necesidad que tiene este monitoreo, sobre todo es importante ver que quienes los construyen están de acuerdo e interesados en realizar esta metodología

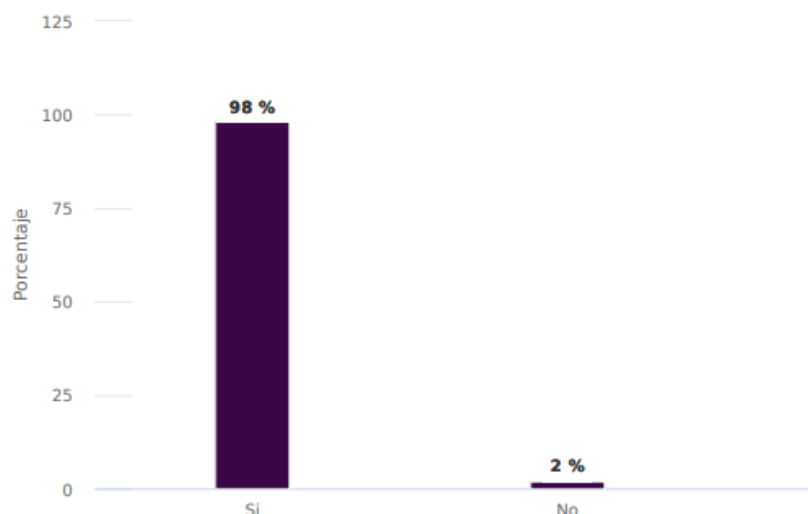
¿Cuál consideraría el factor que más podría afectar el funcionamiento de esta implementación electrónica en tiempo real para Puentes Vehiculares?



Así como la matriz de priorización arrojó que el problema es el Robo de Equipos después de instalados, es importante visualizar como se va a mitigar este problema, ya que de nada sirve tener todos los equipos en funcionamiento si al final se los roban, por lo cual la importancia de intentar solucionar esta brecha luego establecer correctamente la toma de datos, ya que se debe garantizar la toma de datos en tiempo real.

En esta pregunta algunos encuestados señalaron más de una opción, pero son claros los factores que sobresalen.

¿Estaría de acuerdo en que dentro de los procesos licitatorios se incluya instalación de una implementación electrónica en tiempo real a los puentes vehiculares?



EL 98% de los encuestados afirma que si deberían incluir la instrumentación dentro de la licitación con esto se toma el control de estas rehabilitaciones y mantenimientos.

12.2. Entrevista al director técnico del INVIAS

A continuación, se exponen las respuestas dadas por el director técnico del INVIAS, el Ingeniero Guillermo Toro, esta entrevista es muy importante ya que como se mencionó anteriormente el INVIAS es el cliente más interesado en llevar el control de las estructuras, de esta manera las preguntas con respuestas son:

- Nombre completo

R/Guillermo Toro Acuña

- Cargo en el Invias

R/ director técnico

- ¿Cree que el área de Innovación en el Invias ha tenido avance y desarrollo?

R/ Claro que sí y no solo eso, estoy convencido que esta dirección generará el mayor impacto en la entidad en sus 25 años de trayectoria en este aspecto. Hoy la Entidad cuenta con un equipo de Innovación encargado de identificar, evaluar y normalizar las Nuevas Tecnologías aplicadas a la infraestructura de transporte que existen en el mercado o que vienen siendo desarrolladas por empresas del sector público, privado, los gremios y la academia. Hemos creado espacios denominados ruedas de innovación y sostenibilidad en los cuales el INVIAS, en el marco del cumplimiento de lo estipulado en el Art 173 de la ley 1955 de 2019, ha logrado conocer y preseleccionar más de 200 nuevas tecnologías dentro de las cuales se destacan innovaciones en materiales, procesos, software, dispositivos y equipos de captura y análisis de datos, entre otros aspectos que buscan no solo hacer eficiente la Infraestructura de Transporte sino también más sostenible y resiliente. Adicionalmente, la Entidad ha publicado la resolución 000263 del 31 de enero del 2020 que describe el protocolo de adopción de nuevas tecnologías dentro

del Instituto con el fin que estas puedan ser normalizadas y aplicadas en la construcción de infraestructura para todos los modos de transporte. De esta manera, hemos creado el instrumento que no solo adopta nuevas tecnologías sino también que brinda las posibilidades que este proceso sea sostenible en el tiempo de manera que la industria, la academia y demás actores de la cadena de valor de la construcción se incentiven a seguir innovando teniendo de seguro que su producto, proceso o servicio será reconocido y aceptado por la entidad técnica reguladora por excelencia y que podrá competir abiertamente en el mercado.

- 4. ¿Qué tan interesado está el Invias en adoptar nuevas tecnologías?

R/ Es una bandera para el instituto, estamos conscientes de los beneficios que puede traer la incorporación de Nuevas Tecnologías en los objetivos estratégicos de corto y largo plazo de la Entidad para revolucionar la infraestructura de transporte en Colombia. De hecho, el compromiso es tal que hoy contamos con 71 Innovaciones que han sido seleccionadas bajo el protocolo establecido en la resolución 000263 del 31 de enero del 2020 donde se espera que a través de pruebas de laboratorio e implementación de tramos de prueba supervisados y validados por entes investigadores (universidades), se pueda proceder a su normalización en el corto plazo y por lo tanto se habilite su uso en la construcción de infraestructura de transporte a cargo del Invias a nivel nacional.

- 5. ¿Tienen presupuesto para el desarrollo de esta actividad? ¿Cuánto?

R/ El Instituto Nacional de Vías ha destinado de manera directa más de 10.000 millones de pesos para la adopción de nuevas tecnologías aplicadas a la infraestructura de transporte que serán ejecutados en el presente cuatrienio. Sin embargo, es preciso aclarar que el artículo 173 de 2019 establece que "para la promoción del emprendimiento, investigación y desarrollo de nuevas tecnologías e innovación en la infraestructura de transporte, el Invias podrá incentivar la promoción del uso de nuevas tecnologías, mediante la cofinanciación de ejecución de tramos de prueba, con cargo a los presupuestos de los respectivos proyectos de infraestructura

en desarrollo de los respectivos contratos". De esta manera, parte del presupuesto de la entidad será utilizado para validar en escala real las nuevas tecnologías seleccionadas provenientes de la innovación de diferentes actores de la cadena de valor del sector de la construcción, minimizando el riesgo de su implementación a gran escala en los proyectos venideros y asegurando la obtención de eficiencias importantes en la inversión y el gasto públicos. Estas inversiones que el Instituto Nacional de Vías realizará en este cuatrienio en materia de innovación se convierten entonces en las de mayor magnitud y relevancia de toda su historia.

- 6. Dentro de los planes de innovación actuales ¿Puede detectar alguna inclinación hacia el monitoreo de estructuras?

R/ La Dirección Técnica a través de la Subdirección de Estudios e Innovación, suscribió a principios de este año un contrato de investigación con la Universidad de Los Andes y la Universidad Javeriana para desarrollar el sistemas inteligente de infraestructura de puentes donde el INVIAS invierte más de 5000 mil para lograr entre otros aspectos diseñar y materializar en dos importantes corredores viales primarios el monitoreo en tiempo real de los puentes existentes con el fin de valorar aspectos como capacidad y durabilidad estructural, cargas de impacto y condiciones de sobreesfuerzo, pronóstico de intervención o repotenciación estructural entre otros.

- 7. ¿Ha escuchado algún tipo de tecnología para el monitoreo de estructuras en tiempo real? ¿Cuál?

R/ Si, en el mundo es ampliamente reconocido que el monitoreo preventivo de los puentes vehiculares es sin duda alguna una de los objetivos primordiales a conseguir por parte de las entidades a cargo de la infraestructura de transporte. Inclusive existen investigaciones que evalúan el impacto en el PIB de un país por el deterioro y falta de mantenimiento de su infraestructura de puentes. De esta manera, se han desarrollado gran variedad de tecnologías para el monitoreo de desplazamientos, deformaciones, esfuerzos, aceleraciones, y demás en puentes de todo tipo. De hecho, en nuestra primera rueda de innovación y sostenibilidad llevada a

cabo en el mes de diciembre del 2018, se presentó la Empresa Tenken Engineering, con un novedoso dispositivo llamado “SENSOR ÓPTICO DE MEDICIÓN Y MONITOREO DE DESPLAZAMIENTOS DINÁMICOS”.

- 8. ¿Sabe si en Colombia se ha implementado alguna tecnología para detectar irregularidades estructurales en puentes vehiculares?

R/ Si, el nuevo puente Pumarejo que recientemente fue construido y entregado por el Instituto Nacional de Vías en la ciudad de Barranquilla, fue instrumentado con un moderno sistema de ITS que incluye dispositivos para la lectura en tiempo real de vibraciones, deformaciones, desplazamientos y daño estructural.

- 9. En su experiencia ¿Cree que el monitoreo de estructuras en tiempo real puede ayudar a evitar colapsos detectando rehabilitaciones y mantenimientos en el momento adecuado?

R/ Definitivamente si, a través de tecnologías como big data, IoT, machine learning entre otras hoy es posible realizar análisis de gran cantidad de datos en tiempo real, realizar prospectiva y, por lo tanto, tomar decisiones de forma preventiva que en el caso particular permitirían indicar cuando un puente requiere un mantenimiento menor o mayor, o inclusive una rehabilitación o repotenciación estructural.

- 10. ¿Cree que esta implementación le puede ahorrar dinero al Invias?

R/ Es uno de los principales objetivos del contrato de investigación que mencionaba anteriormente, y estamos seguros que sus resultados permitirán realizar inversiones inteligentes en la infraestructura de puentes que nos ayudarán a mejorar el gasto público, permitiendo precisar periodos de mantenimiento asertivos, actividades de mantenimiento o repotenciación relevantes, tipologías de puentes con menores costos de mantenimiento en el largo plazo, entre otros múltiples aspectos. De seguro, una vez desarrollada esta tecnología ajustada al caso colombiano, podremos hacer más invirtiendo menos, y por lo tanto posibilitando que la red vial nacional sea más segura y resiliente para todos sus usuarios.

GUILLERMO TORO ACUÑA

Director Técnico INVIAS

Luego de la entrevista dada por el Ingeniero Guillermo Toro, se puede ver que ya es un hecho el inicio de esta implementación, por lo cual la teoría planteada en esta tesis concluye en éxito, ya que el Invias está asumiendo que, si debería dar resultado tanto en tiempo, pérdidas materiales y en ocasiones pérdidas humanas, lo cual al concluir siempre termina representado en pérdidas económicas.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

13.1. Conclusiones

La tecnología es una herramienta muy útil a fin de simplificar tanto la vida humana como la vida de las cosas, a lo largo de este trabajo se intentó plasmar la importancia que tiene el uso de la implementación de tecnologías basados en casos reales. Viendo la situación económica que tiene el país actualmente, se hace notoria la importancia de lograr disminuir costos logrando la mitigación oportuna de fallas a fin de obtener una vida útil de las estructuras.

Como desarrollo y sustento de este trabajo se realizó un estudio referente a las causas de los colapsos de puentes vehiculares en Colombia, notando que el Ingeniero Edgar Muñoz ya tiene este tema muy estudiado, se plasman varios apartes de sus investigaciones los cuales fueron de mucha importancia para el desarrollo del trabajo logrando encontrar conclusiones similares a sus estudios.

Las causas de colapso de los puentes en su mayor proporción tienen que ver con fenómenos naturales como lo son la socavación, avalanchas, crecientes proseguido de fenómenos humanos como lo son la deficiencia estructural y de diseño, sobrecarga e impacto y construcción e interventoría, así como se puede ver la gran proporción corresponde a los fenómenos naturales los cuales en muchas ocasiones son actos fortuitos que no dan rango de tiempo para lograr reparar las estructuras y si no da tiempo de salvarla podría ser posible declarar la emergencia luego cancelar el funcionamiento de la estructura a fin de preservar vidas humanas, por esta razón la importancia de la instrumentación, y en cuanto a los fenómenos producidos por el hombre estos pueden verse deteriorados con el tiempo a largo plazo por lo cual también se hace imprescindible a fin de estar en constante monitoreo y definir el momento preciso de reparación, rehabilitación o suspensión del servicio.

Teniendo en cuenta los ejemplos de colapsos y desmontaje de puentes mencionados a lo largo del trabajo, se denota la importancia de tener en funcionamiento estas estructuras, ya que son las encargadas de intercomunicar dos puntos con lo cual se llega al desarrollo tanto educativo, económico, industrial, social, además de requerimientos de salud, consecución de víveres,

entre muchos otros. Se ilustra económicamente una aproximación de pérdidas cuando se realiza una interrupción viendo que las pérdidas son sustanciales, concluyendo que si se justificaría tener estos puentes en constante monitoreo.

Aunque en Colombia el interés por la instrumentación de los puentes vehiculares dio inicio en el año 2002 mediante contrato ejecutado por el IDU, no se tiene información de lo ocurrido con esta implementación, se tiene la información del análisis de los puentes a los que se instrumentaron y se sabe que fueron instaladas las cajas de instrumentos con lo cual se tomaban datos en tiempo real, pero aunque no es precisa la razón por la cual esa tecnología no siguió funcionando se estima que no tuvo éxito primero debido a que la señal para lograr capturar los datos en tiempo real no era buena ya que en esa época no se contaba con suficiente abastecimiento de señal por lo cual no se cumplía con lo requerido, y además al parecer, estas cajas fueron robadas, culminando con la idea de desarrollar esta metodología.

En la actualidad se ha realizado la implementación a algunos puentes en Colombia, entre los cuales se encuentra el puente Pumarejo y el puente Honda, pero, aunque estos tienen los instrumentos instalados no se cuenta con la recolección de datos en tiempo real ya que la entidad contratante no tuvo en cuenta la continuidad de un contrato para la recolección y análisis de estos datos.

Según la metodología PESTEL se logró identificar en lo político, que realmente el gobierno no está interesado tal vez por desinformación, además es importante tener una buena relación en el exterior ya que la consecución de los equipos se realiza fuera del país. En la parte económica, con el estudio realizado se recalca que es importante la implementación y que los gastos que se tienen por su ejecución en cuanto a mantenimiento de equipos y procesamiento de datos no se comparan con los gastos que se tienen por falta de mantenimiento y rehabilitación lo cual conlleva a los colapsos que son irreparables y muy costosos. En la parte Sociocultural es muy importante destacar la importancia que tiene esta implementación a la comunidad a fin de evitar deterioros o robos. En cuanto a la parte tecnológica esta es la oportunidad que otorga esta implementación ya que depende netamente de este medio. Al ser pocos equipos y pensando en cargarlos con panel solar, se haría un aporte al medio ambiente.

En cuanto a lo legal, se puede detectar un hermetismo ante la adquisición de esta tecnología, pero se sabe que en la actualidad se está trabajando en esta implementación con lo cual se puede detectar que es posible exista en un futuro próximo algo estructurado.

Como conclusión de la matriz DOFA, se tiene que el número de debilidades es igual al número de fortalezas lo que traduce un balance en donde las fortalezas pueden apalancar las debilidades. El número de amenazas es menor que las oportunidades, con lo cual se tomaran las oportunidades para lograr disipar las amenazas teniendo en cuenta que esta instrumentación es un nuevo entrante a la tecnología de Colombia.

Teniendo los recursos según lo indicó el Presidente de la República, es importante sustentar lo que esta tecnología traería como beneficios pero también es importante lograr identificar por qué no ha logrado funcionar esta tecnología en el país, por lo cual se realiza la matriz de priorización de la cual se obtuvo que el objetivo más crítico para el desarrollo del proyecto se inclina al robo de los equipos, seguido de la legislación, siendo así se hace indispensable buscar la forma de impedir que suceda el robo de los equipos y además imprescindible lograr legislar mediante un decreto o norma, donde se obligue a la implementación de estos equipos en cada construcción de puente.

Los resultados que se obtuvieron con la encuesta eran predecibles por lo cual se ratifica la necesidad de lograr realizar la implementación.

El ingeniero Guillermo Toro revalida que ya se está trabajando en este tema, bajo la dirección del departamento de Estudios e Innovación del Instituto Nacional de Vías INVIAS junto con la Universidad de los Andes y La Pontificia Universidad Javeriana lo cual es un logro para la salud estructural del país.

Se destaca que más de pérdidas materiales se debe preservar la vida humana, y una estructura con las características de un puente vehicular tiene mucho riesgo, ya que en su mayoría cuentan con un Gálibo considerable, haciendo referencia que ante un colapso se pueden llegar a perder vidas humanas las cuales son irreparables.

Los Entes Estatales y algunos privados son los directamente interesados en lograr mitigar estos colapsos, para lo cual ya se han tomado algunas medidas iniciales,

en este momento se encuentra en curso la investigación con el fin de lograr implementar esta tecnología, para la cual ya designó presupuesto, lo que traduce un proyecto más factible denominado (Sistema Integrado de Gestión de Puentes SIGP) en alianza con el INVIAS, la Universidad de los Andes y la Pontificia Universidad Javeriana, con el cual se espera materializar este sistema de monitoreo.

Aunque todos los proyectos son diferentes se tiene un costo estimado del 3,7% sobre el valor total del contrato a fin de lograr implementar la instrumentación, lo cual como se puede detectar no corresponde a un valor alto comparando con los beneficios que esto brindaría.

13.2. Recomendaciones

Entendiendo la cantidad de puentes construidos en el país, se requiere priorizar los puentes que tienen más riesgo en cuanto a colapsos debido a los diferentes factores mencionados en este trabajo.

Teniendo en cuenta la instalación de los instrumentos, estos deben estar dispuestos de tal forma que sean útiles para desarrollar su función, se debe tratar de encontrar la manera de ubicarlos en un sitio seguro pero asequible, puede ser embebidos dentro de la estructura pero que al mismo tiempo se pueda tener acceso a ellos para cablear la celda solar y además realizar las calibraciones requeridas.

Se debe tener en cuenta que estos instrumentos son muy específicos en cuanto a su función por lo cual se debe concientizar a las comunidades en cada zona de influencia de los puentes a monitorear, que el robo de estos equipos no representan un valor significativo para la persona particular ya que si los toman y los pretenden vender, solo recibirán dinero como material reciclado o chatarra, por lo cual lo que realmente harían finalmente es un daño significativo a la vida de la estructura y por consiguiente si tiene fallas el puente se verá afectada la zona económicamente por falta de conexión.

Resaltando el uso de la tarjeta de red, es posible implementar un GPS con los instrumentos para fines de seguridad, dado el caso de extracción por robo de la caja, lograr ubicarla para su recuperación

Para lograr establecer la legislación se requiere inicialmente de presupuesto para poder implementarla, con lo cual se debe realizar una sustentación basada en hechos donde se especifique que con esta implementación se ahorraría dinero en cuanto a la detección temprana en fallas estructurales de los puentes vehiculares con lo cual se puede dar obligatoriedad mediante la expedición de una alguna legislación ya sea un Decreto o Norma.

Teniendo en cuenta las etapas de un proyecto según se expresa en el numeral 8.1.3.1.3, es lo que se está concluyendo en este trabajo, afirmando que ya se cumplieron con las etapas propuestas por lo que es viable realizar el proyecto.

Conociendo las diferencias geográficas existentes en Colombia, sería importante realizar una priorización de los proyectos para exigir esta implementación, en las zonas donde exista más riesgo de desastres exigir más itinerancia de datos y en lo posible una instrumentación más detallada.

Se recomienda el uso de la Gráfica 16 con el fin de identificar los puentes en estado crítico para poder priorizar su intervención de acuerdo con los resultados de la inspección principal, inspección especial, inspección rutinaria, el tránsito promedio diario y la capacidad de carga.

Luego de entender que en el país si existe la implementación de este sistema, sería importante lograr persuadir a las entidades estatales a fin de expedir licitaciones a fin de poner en marcha este monitoreo mediante la toma y procesamiento de datos.

14. REFERENCIAS

- Amezquita, J. P. (2012). Monitoreo de vibraciones en tiempo real para detectar daños en estructuras. *Tesis Doctoral (Centro Universitario Querétaro)*. Mexico: Autor, A., & Autor, A. (Año). Título de la tesis (Tesis de pregrado, maestría o doctoral). Nombre de la institución, Lugar.
- Camara Colombiana de la Infraestructura. (2019). *www.infraestructura.org.co*. Obtenido de Camara Colombiana de la Infraestructura: <http://www.infraestructura.org.co/2017/>
- Colombia, U. N. (1996). Puente Pescadero Causas del Colapso. *Universidad Nacional de Colombia*.
- Cusba Morales, D. (2011). *ESTUDIO DE LAS CAUSAS Y SOLUCIONES ESTRUCTURALES DEL COLAPSO TOTAL O PARCIAL DE LOS PUENTES VEHICULARES DE COLOMBIA DESDE 1986 AL 2011, Y LA EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DEL DERRUMBAMIENTO DE UNO DE ELLOS*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Deposit Photos. (2018). *www.depositphotos.com*. Obtenido de <https://sp.depositphotos.com/search/medir-fallas.html?qview=52873811>
- Duque, P. I. (2018). *Duque*. Obtenido de www.ivandunque.com: <https://www.ivandunque.com/propuestas/6/200/empleo/desarrollo-de-nuevas-fuentes-de-financiacion-para-los-proyectos-de-infraestructura>
- Fondo Adaptación. (2017). *Términos y condiciones contractuales, invitacion cerrada FA-IC-020-2017*. Bogotá.
- Fondo Adaptación. (2018). *www.fondoadaptacion.gov.co*. Obtenido de <http://sitio.fondoadaptacion.gov.co/index.php/prensa/comunicados-de-prensa/comunicados-prensa-2018/1069-comunicado-003-18>
- García, J. M., Ospina Giraldo, J., & Graciano, E. A. (2014). Evaluación técnica de los puentes en la infraestructura vial del departamento de Antioquia. *Revista Universidad Cooperativa de Colombia*, 6.
- IDU. (2004). *Plan Maestro de sostenibilidad de infraestructura urbana de Bogotá D.C*. Bogotá: Instituto de Desarrollo Urbano.
- Instituto de Desarrollo Urbano. (2007). *Consultoria a precio global fijo sin formula de reajuste para revisar, diagnosticar, actualizar el sistema de monitoreo de puentes en tiempo real y desarrollar e implementar una metodología para el análisis y la interpretación arrojada por el sistema*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Instituto de Desarrollo Urbano, IDU. (2002). *Contrato 212 de 2002*. Bogotá: IDU.
- INVIAS. (26 de Abril de 2012). *www.invias.gov.co*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/mas/sala/noticias/675-transversal-boyaca-fue-adjudicada-al-consorcio-para-la-prosperidad-conpros>
- INVIAS. (23 de Octubre de 2015). *www.contratos.gov.co*. Obtenido de <https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=15-1-150888>

- Kuan, Y. C. (2013). *Evaluación y Monitoreo de Salud Estructural de Puentes utilizando un Sistema de Instrumentación Inalámbrico*. Costa Rica: Programa de Infraestructura del Transporte.
- MINISTERIO DE EDUCACIÓN. (20 de Febrero de 2007). www.mineducacion.gov.co. Obtenido de <https://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-119242.html>
- Ministerio de Transporte. (11 de Noviembre de 2018). www.mintransporte.gov.co. Obtenido de https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/33/quienes_somos/
- Ministerio de Transporte, & Pontificia Universidad Javeriana. (2012). *MANUAL PARA EL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL SECUNDARIA (PAVIMENTADA Y EN AFIRMADO)*. Bogotá.
- Muñoz, E. E. (2012). *Ingeniería de Puentes. Reseña histórica, tipología, diagnóstico y recuperación*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Muñoz Diaz, E. E. (2012). *Ingeniería de Puentes. Colapso, inspección especial, socavación, vulnerabilidad sísmica y capacidad de carga*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Muñoz Diaz, E. E. (2012). *Ingeniería de Puentes. Confiabilidad estructural*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Muñoz, E. E. (2009). *Estudio de las causas del colapso de algunos puentes en Colombia*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Muñoz, E., & Gómez, D. (2013). Análisis de la evolución de los daños en los puentes de Colombia. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 37-62.
- Parra, S., & Sedano, G. (2011). *Desarrollo de Una Metodología para la Evaluación del Estado de Puentes*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Programa de Infraestructura del transporte (PITRA). (2013). *Monitoreo y evaluación estructural de puentes utilizando un sistema de instrumentación inalámbrico*. Costa Rica: Laboratorio nacional de materiales y modelos estructurales.
- Revista Semana. (2019). ¿Un puente monumental u ornamental? *Semana*.
- SAFE Instrumentación S.A.S. (2018). *Documento maestro de los instrumentos de medición para el puente nuevo Honda*. Tolima.
- SIPUCOL. (Marzo de 2017). *Inventario Puentes Construidos en Colombia*. Bogotá: Instituto Nacional de Vías (INVIAS).
- Universidad del Valle. (2000). Monitoreo de Salud Estructural. *Ingeniería y Competitividad*, 40-46.
- Universidad Nacional de Colombia. (1996). *Puente Pescadero Causas del Colapso*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Vicepresidencia Técnica de Colombia. (1 de Julio de 2016). *Cámara Colombiana de la Infraestructura*. Recuperado el 3 de Junio de 2018, de [http://www.infraestructura.org.co/bibliotecas/VPT/PREINVERSION%20EN%20PROYECTOS%20DE%20INFRAESTRUCTURA%20\(JULIO%202016\).pdf](http://www.infraestructura.org.co/bibliotecas/VPT/PREINVERSION%20EN%20PROYECTOS%20DE%20INFRAESTRUCTURA%20(JULIO%202016).pdf)