

ARQUITECTURA DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO DE SALUD
ESTRUCTURAL (SHM) BASADO EN PIEZODIAGNOSIS, USANDO DoDAF 2.0

JOSE LUIS SAAVEDRA GUERRA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2016

ARQUITECTURA DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO DE SALUD
ESTRUCTURAL (SHM) BASADO EN PIEZODIAGNOSIS, USANDO DoDAF 2.0

JOSE LUIS SAAVEDRA GUERRA

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico

Director

PhD. RICARDO LLAMOSA VILLALBA

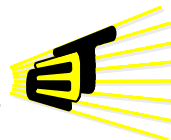
Codirectores

M.Sc DARÍO JOSÉ DELGADO QUINTERO

M.Sc JHONATAN CAMACHO NAVARRO



ESCUELA DE INGENIERÍAS
ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA
Y DE TELECOMUNICACIONES



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, por brindarme una formación como ingeniero y persona integral.

A los profesores Ricardo Llamosa, Dario Delgado y Jhonatan Camacho, por su tiempo, apoyo, asesoría y dedicación a la realización del presente proyecto de grado. Quienes se encargaron de acompañar y guiar cada paso realizado en la realización del proyecto y del presente trabajo, además de solucionar cualquier inquietud presentada.

Finalmente agradezco a cada uno de mis amigos y compañeros que brindaron apoyo, consejos y sugerencias para la realización del presente trabajo.

A mi mamá Margoth Cecilia Guerra, a mi abuela Gladys María Angarita, a mi hermana Alba Cecilia y a todos mis familiares por ser mi más grande apoyo y motivación para seguir adelante.

A las personas que de alguna manera contribuyeron a mi formación tanto personal como académica, brindándome conocimiento, experiencia y apoyo en los buenos y malos momentos que se nos presentan.

Gracias.

Jose Luis Saavedra Guerra

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMA.....	17
1. ENFOQUE CONCEPTUAL.....	18
1.1. MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL (SHM).....	18
1.2. ARQUITECTURA DE SISTEMAS Y MARCOS ARQUITECTURALES.....	18
1.3. DoDAF (<i>Department of Defense Architecture Framework</i>)	20
1.4. SySML (<i>Systems Modeling Language</i>).....	22
2. CASO DE APLICACIÓN - SISTEMA PARA EL MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL (SHM) BASADO EN PIEZODIAGNOSIS	23
2.1. MÓDULO DE INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA	23
2.2. MÓDULO DE PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO	24
2.3. MÓDULO DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA.....	24
2.4. ESCENARIOS DE OPERACIÓN.....	25
3. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL (SHM) BASADO EN PIEZODIAGNOSIS	26
3.1. PROCEDIMIENTO DE 6 PASOS PARA LA ELABORACIÓN DE LA ARQUITECTURA.....	26
3.1.1. Paso 1 - Determinar el uso de la arquitectura.	27
3.1.2. Paso 2 - Determinar el alcance de la arquitectura.....	31
3.1.3. Paso 3 - Determinar datos necesarios para apoyar el desarrollo de la Arquitectura... 31	
3.1.4. Paso 4 - Recopilar, organizar, correlacionar, y almacenar datos arquitectónicos.	32
3.1.5. Paso 5 - Análisis para apoyar a los objetivos de la arquitectura.....	32
3.1.6. Paso 6 - Documentación de resultados..	33
4. HALLAZGOS DE BRECHAS DE ESTANDARIZACIÓN DEL SISTEMA PARA EL MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL (SHM) BASADO EN PIEZODIAGNOSIS.	42

5. INSUMOS DEL PLAN ESTRATEGICO, RESULTADOS, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN.....	48
5.1. PROYECTOS.....	49
5.2. FASE DE CAPACIDADES Y PERSPECTIVAS DA CAMBIOS DEL SISTEMA...	50
5.3. VERIFICACIÓN DE LA ARQUITECTURA.....	55
6. CONCLUSIONES.....	57
7. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Operaciones y elementos del sistema para el monitoreo de salud estructural.	17
Figura 2. Conjunto de vistas de DoDAF 2.0. (Tomado de [19])	21
Figura 3. Diagramas de SySML (Tomado de [24])	22
Figura 4. Metodología de evaluación de los daños (Tomado de [12])	23
Figura 5. Componentes generales para la identificación de daños basados en el principio de piezodiagnosis (Tomado de [12]).....	24
Figura 6. Procedimiento de seis pasos para el desarrollo de la arquitectura (Tomado de [19]).....	26
Figura 7. Procedimiento para el levantamiento de requerimientos.....	28
Figura 8. Diagrama de requerimientos – Enfoque de Operaciones.	29
Figura 9. Diagrama de requerimientos – Enfoque de Sistemas.	30
Figura 10. Procedimiento para la elaboración de los artefactos arquitecturales.	34
Figura 11. Diagrama de contexto - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.....	35
Figura 12. CV-2 - Taxonomía de Capacidades.....	36
Figura 13. OV-5a - Jerarquía de Actividades Operacionales Escenario ONLINE.....	38
Figura 14. OV-6a Escenario ONLINE - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.....	39
Figura 15. SV-4 - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.	41
Figura 16. Metodología para el hallazgo de brechas - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.	42
Figura 17. Metodología para el hallazgo de brechas - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.	48

Figura 18. Línea de Tiempo- Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.....	53
Figura 19. Fase de Capacidades - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.....	54
Figura 20. Diagrama de radar, proporción entre modelos por vista y modelos realizados..	56
Figura 21. CV-1 visión.....	77
Figura 22. Dependencia de Capacidades – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM)	80
Figura 23. OV-5a Jerarquía de Actividades Operacionales - escenario OFFLINE.	84
Figura 24. OV-5b Modelo de Actividades Operacionales - escenario OFFLINE.	85
Figura 25. Modelo de Actividades Operacionales - escenario ONLINE.....	86
Figura 26.OV-6a Modelo de Reglas Operacionales - escenario OFFLINE.....	87
Figura 27. OV-6b Descripción de Transición de Estados - escenario OFFLINE.....	88
Figura 28. OV-6b Descripción de Transición de Estados - escenario ONLINE.	89
Figura 29. SV-1 Descripción de Sistemas e Interfaces.	90
Figura 30. StdV-1 Perfil de Estándares.....	102

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de los principales marcos arquitecturales (Tomado de [11]).....	19
Tabla 2. Ficha técnica - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.	27
Tabla 3. Vistas y artefactos arquitecturales - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.	33
Tabla 4. Relación Actividades Operacionales Vs Estándares. Escenario ONLINE.	44
Tabla 5. Relación Sistemas Vs Estándares.	46
Tabla 6. Portafolio De Proyectos – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.	51
Tabla 7. Capacidades Vs Proyectos – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.	52
Tabla 8. Conclusiones por Objetivos del proyecto	58
Tabla 9. Diccionario Integrado.	72
Tabla 10. Conexión capacidades de alto nivel – efectos deseados.	79
Tabla 11. Conexión efectos deseados – visión.....	79
Tabla 12. CV-6 Relación Capacidades - Actividades Operacionales	81
Tabla 13. . SV-3 Matriz de Relación Sistemas – Sistemas	91
Tabla 14. SV-5a Matriz de Relación Entre Actividades Operacionales y Funciones de Sistemas.	92
Tabla 15. SV-5b Matriz de Relación Entre Actividades Operacionales y Sistemas.....	98
Tabla 16. Matriz Actividades operacionales Vs Estándares - Escenario OFFLINE.....	103
Tabla 17. Rubrica de Satisfacción y verificación de la arquitectura.	105

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. AV-1 Descripción e Información Resumida – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.	70
ANEXO B. AV-2 Diccionario Integrado – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.	72
ANEXO C. CV-1 Visión – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.	77
ANEXO D. CV-4	80
ANEXO E. CV-6 Relación Capacidades - Actividades Operacionales – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.	81
ANEXO F. OV-5a Jerarquía de Actividades Operacionales - escenario OFFLINE.	84
ANEXO G. OV-5b Modelo de Actividades Operacionales - escenario OFFLINE.	85
ANEXO H. OV-5b Modelo de Actividades Operacionales - escenario ONLINE.	86
ANEXO I. OV-6a Modelo de Reglas Operacionales - escenario OFFLINE.	87
ANEXO J. OV-6b Descripción de Transición de Estados - escenario OFFLINE.	88
ANEXO K. OV-6b Descripción de Transición de Estados - escenario ONLINE.	89
ANEXO L. SV-1 Descripción de Sistemas e Interfaces.	90
ANEXO M. SV-3 Matriz de Relación Sistemas – Sistemas.	91
ANEXO N. SV-5a Matriz de Relación Entre Actividades Operacionales y Funciones de Sistemas.	92
ANEXO O. SV-5b Matriz de Relación Entre Actividades Operacionales y Sistemas.	98
ANEXO P. StdV-1 Perfil de Estándares.	102
ANEXO Q. Matriz Actividades operacionales Vs Estándares - Escenario OFFLINE.	103
ANEXO R. Rubrica de Satisfacción y verificación de la arquitectura.	105

RESUMEN

TITULO: ARQUITECTURA DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL (SHM) BASADO EN PIEZODIAGNOSIS, USANDO DoDAF 2.0.*

AUTOR: JOSE LUIS SAAVEDRA GUERRA**

PALABRAS CLAVE: Monitoreo de salud estructural, Piezodiagnosis, DoDAF 2.0, Arquitectura de sistemas, SysML, Estandarización de sistemas.

DESCRIPCIÓN:

Este trabajo permite comprender el concepto, funcionalidad y los componentes de un sistema para el monitoreo de salud estructural basado en piezodiagnosis, que es capaz de detectar y clasificar daños y fallas en estructuras mecánicas, civiles y aeronaves. Para ello, se desarrolla la arquitectura del sistema utilizando el marco arquitectural DoDAF 2.0, con el fin de obtener conjuntos de modelos que brinden una descripción de la estructura y el comportamiento del sistema, es decir, descripciones gráficas o tabulares de los sistemas, operaciones y capacidades y a la vez, su alineamiento con los requerimientos y directrices establecidos en estándares técnicos.

Los modelos obtenidos y la revisión de los estándares aportan la información necesaria para el hallazgo de brechas en el cumplimiento de estándares y requerimientos. Por consiguiente, se realizan modelos que sirvan de insumos del plan estratégico del sistema, definiendo proyectos orientados a la solución de las brechas halladas, la evolución de las capacidades y las perspectivas de cambio del sistema.

Finalmente, se lleva a cabo un proceso de verificación de la arquitectura para comprobar si la información suministrada en cada modelo es correcta y, además, determinar si los modelos construidos son suficientes para el cumplimiento del objetivo de la arquitectura.

* Trabajo de grado.

** Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela De Ingenierías Eléctrica, Electrónica Y De Telecomunicaciones. Director. PhD. Ricardo Llamasa Villalba. Codirectores. M.Sc Darío José Delgado Quintero, M.Sc Jhonatan Camacho Navarro

ABSTRACT

TITLE: ARQUITECTURA DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL (SHM) BASADO EN PIEZODIAGNOSIS, USANDO DoDAF 2.0.*

AUTHOR: JOSE LUIS SAAVEDRA GUERRA **

KEYWORDS: Structural Health Monitoring, Piezodiagnosis, DoDAF 2.0, Systems Architecture, SysML, Systems Standardization.

DESCRIPTION:

This research allows to understand the concept, functionality and the components of a structural health monitoring system based on piezodiagnosis, this system is able to detect and classify damages and failures in mechanical and civil structures and aircrafts. For this, the architecture of the system is developed using the architectural framework DoDAF 2.0, looking for obtaining sets of models corresponding to graphical or tabular descriptions of systems, operations, capabilities and their alignment with the requirements and guidelines established in technical standards.

The models obtained and the revision of standards provide the necessary information for finding gaps in the accomplishment of standards and requirements. Therefore, models that serve as inputs to the system strategic plan are done, defining projects aimed at resolving the gaps found, the evolution of the capabilities and the changing perspectives in the system.

Finally, a verification process of the architecture is done to check whether the information provided in each model is correct, and also determine whether the constructed models are enough to reach the objective of architecture.

* Bachelor Thesis.

** Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela De Ingenierías Eléctrica, Electrónica Y De Telecomunicaciones. Director. PhD. Ricardo Llamasa Villalba. Codirectores. M.Sc Darío José Delgado Quintero, M.Sc Jhonatan Camacho Navarro

INTRODUCCIÓN

En el proceso de diseño, desarrollo y evolución de sistemas electrónicos intervienen diferentes factores que afectan el resultado final y aumentan la complejidad de su implementación [1], dentro de estos factores se encuentran los requerimientos relacionados con el área de aplicación, la estructura física (componentes electrónicos) y el software que conforman el sistema, así como los estándares técnicos que deben ser adoptados [2]. En este contexto, es útil el uso y desarrollo de arquitecturas de sistemas donde se proporcione el escenario que defina, controle e integre los componentes y subsistemas de Hardware y Software que interactúan entre sí para cumplir con los requerimientos de la aplicación general [3], [4]. Por lo tanto, la arquitectura, permite observar el sistema desde diferentes perspectivas brindando una contextualización de lo que ocurre en él, facilitando la creación e implementación de un plan de acción estratégico que tenga como desafío alinear las funciones de los diferentes subsistemas con los objetivos, metas y la visión del sistema [5].

Una arquitectura se define como la organización fundamental de un sistema, expresada en sus componentes y las relaciones entre ellos y el ambiente [6], de acuerdo con lo anterior, para el desarrollo y diseño de arquitecturas de sistemas electrónicos, no es suficiente centrarse solamente en la descripción de sus componentes e infraestructura tecnológica sino que es necesario plantear un lenguaje estandarizado que facilite la comunicación entre las diferentes etapas de desarrollo de dicho sistema y tener en cuenta su interacción con procesos donde intervienen personas, Hardware y Software [7]. Adicionalmente durante el proceso de diseño, desarrollo, documentación y evolución de un sistema electrónico es necesario justificar cualquier cambio o adquisición teniendo en cuenta que dichos cambios y adquisiciones responderán a una necesidad debidamente expresada en su arquitectura [8], por tal motivo es preferible desarrollar inicialmente una arquitectura base donde conozca el estado actual del sistema para posteriormente, por medio de un plan estratégico generar las iniciativas que cambiarán al sistema estudiado.

Existen diversas herramientas de soporte o marcos de referencia, que proporcionan directrices sobre cómo describir o documentar arquitecturas, uno de los más conocidos es DoDAF (*Department of Defense Architecture Framework*) que busca proporcionar descripciones arquitecturales de sistemas donde la interoperabilidad de sus elementos es fundamental. Esa característica, ha permitido que DoDAF sea utilizado en diversos campos de aplicación abarcando desde sistemas complejos de comunicación y navegación de misiones espaciales hasta sistemas de menor complejidad como sistemas de vigilancia, gestión de alarmas y de salud estructural [9], [10], [11].

DoDAF ha sido usado en la descripción de arquitecturas de sistemas de monitoreo de salud estructural (SHM), estos sistemas tienen como objetivo usar sensores piezoeléctricos para detectar, identificar y clasificar fallas en estructuras (mecánicas, aeronáuticas y civiles). Como caso de aplicación se tiene un sistema de monitoreo de salud estructural compuesto por tres módulos principales, un módulo de instrumentación electrónica; un módulo de

procesamiento estadístico; y un módulo de clasificación y emisión de resultados gráficos [12]. Aunque la elaboración de este sistema ha contado con la revisión de modelos teóricos y ejemplos de aplicación, no se han contemplado estándares existentes para este tipo de aplicación ni se han realizado procedimientos para la caracterización total del sistema, lo que ha generado una no uniformidad en la selección de los elementos que conforman el sistema en cada montaje experimental que se ha realizado surgiendo así, la necesidad del uso de una metodología que permita: proveer un lenguaje común entre todos los actores que intervienen en el sistema, la caracterización del sistema y la adopción de estándares que permitan implementar las actividades operacionales necesarias para el monitoreo de salud en estructuras y las recomendaciones para la construcción de cada uno de los bloques que constituyen dicho sistema.

Como solución se presenta la arquitectura del sistema de monitoreo de salud estructural usando DoDAF 2.0, con el fin de reducir el esfuerzo de diseño, establecer una organización jerárquica de los elementos del sistema e identificar las falencias del sistema en el cumplimiento de los estándares existentes en su campo de aplicación, la arquitectura describe los requerimientos que se necesitan para desarrollar el sistema, teniendo en cuenta su estado actual, lo que se desea construir y como se debería construir.

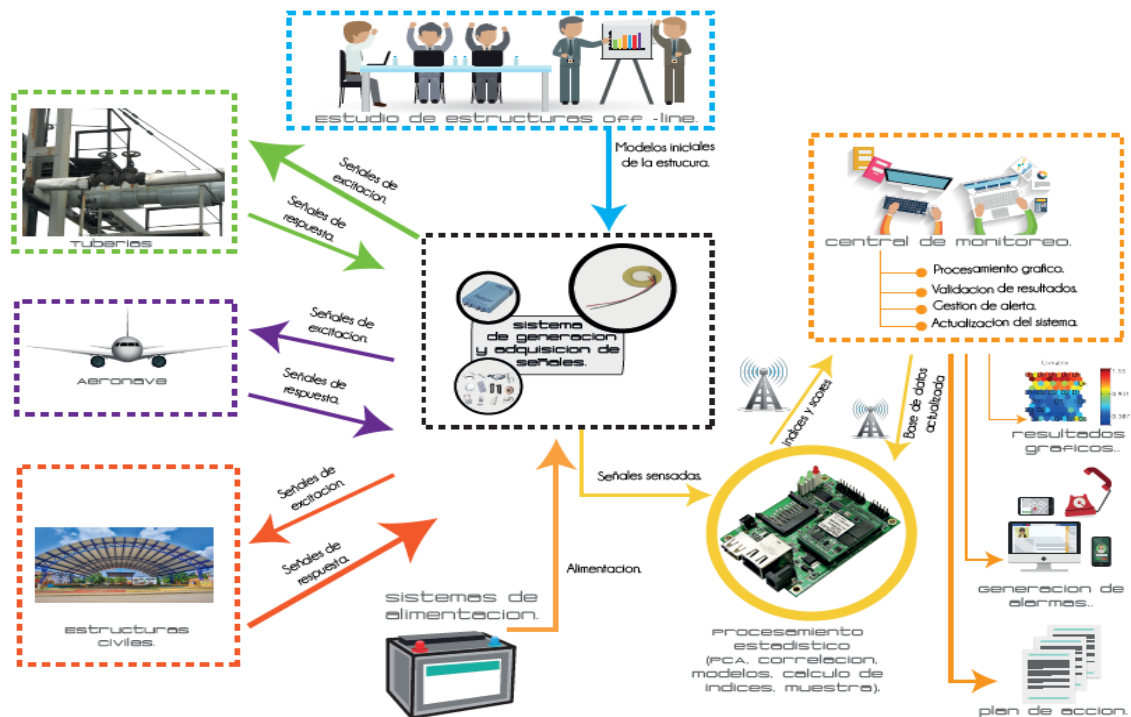
Este documento está compuesto por ocho capítulos, donde inicialmente se plantea una introducción para contextualizar el contenido del trabajo, posteriormente se procede a realizar una revisión de la literatura y con base en los resultados de la investigación se procede al construir la arquitectura del sistema objeto de estudio. En los capítulos siguientes, es mostrado el procedimiento por medio del cual se encuentran las brechas de estandarización y de requerimientos que son la base para poder crear un plan estratégico que contenga un portafolio de proyectos planteados con el fin de solucionar dichas brechas, por último, se presentan los resultados y conclusiones de este trabajo.

DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMA

En la actualidad se están desarrollando sistemas electrónicos para el monitoreo de salud estructural (SHM), este tipo de sistema tiene como finalidad la detección, clasificación y cuantificación de fallas en diferentes tipos de estructuras tales como estructuras mecánicas, aeronáuticas y civiles. El proceso de SHM implica el uso de sensores piezoeléctricos distribuidos sobre la estructura para realizar observaciones periódicas que permitan comparar su comportamiento en condiciones de funcionamiento con el comportamiento ideal cuando la estructura no presenta ningún tipo de fallas [13].

Se toma como referencia el sistema de monitoreo de salud estructural realizado por Camacho et al., 2015 [12], donde se han obtenido avances favorables en la detección de fallas en estructuras como tuberías y aeronaves por medio del uso de sensores piezoeléctricos. Para la elaboración han sido tenidos en cuenta modelos teóricos y ejemplos de aplicación exitosos, pero al mismo tiempo, no se ha revisado si los logros obtenidos hasta el momento se ajustan a los estándares existentes para este tipo de aplicación, surgiendo la necesidad realizar la arquitectura del sistema para obtener una descripción detallada del sistema que ayude a la elaboración de un plan estratégico donde se contemplen la adopción de estándares y recomendaciones en la construcción de cada uno de los bloques que constituyen dicho sistema. El funcionamiento del sistema objeto de estudio es mostrado en la figura 1.

Figura 1. Operaciones y elementos del sistema para el monitoreo de salud estructural.



1. ENFOQUE CONCEPTUAL

Para la comprensión de este trabajo, es necesario entender algunos conceptos relacionados con la elaboración de una arquitectura para un sistema de monitoreo de salud estructural. Por lo tanto, con el fin de establecer el estado actual de los conceptos relevantes, se presenta en este capítulo, un resumen bibliográfico en el que se conceptualizan aspectos generales como; monitoreo de salud estructural (SHM), Arquitecturas de sistemas y marcos arquitecturales, DoDAF (*Department of Defense Architecture Framework*) y SySML (*Systems Modeling Language*).

1.1. MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL (SHM).

El monitoreo de Salud Estructural (SHM por sus siglas en inglés) es el procedimiento que permite determinar el estado funcional de una estructura por medio del uso de diversas técnicas complementarias que abarcan desde el uso de sensores no invasivos para el registro de señales hasta métodos de reducción de datos que permite el cálculo de parámetros que ayudan a establecer un diagnóstico de la estructura [14].

Los campos de aplicación de este procedimiento se extienden a estructuras mecánicas (tuberías, maquinas, etc.), estructuras civiles y aeronaves. Este procedimiento realiza observaciones periódicas que permiten comparar el comportamiento de una estructura en condiciones de funcionamiento con el comportamiento ideal cuando la estructura no presenta ningún tipo de fallas.

Una de las técnicas principales en este procedimiento es la piezodiagnos, la cual consiste en el uso de ondas guiadas obtenidas por el uso de dispositivos piezoeléctricos PZT que tienen como característica la funcionalidad actuador-sensor. Adicionalmente, un procesamiento estadístico de las características de propagación de la onda permite detectar alteraciones producidas por daños [15]. Debido a la gran cantidad de datos que se puede obtener en el procedimiento de monitoreo periódico, el uso del procesamiento estadístico también ayudará a reducir el tamaño de los datos obtenidos y a extraer la información relevante para establecer un diagnóstico.

Otra de las técnicas usadas en el procedimiento de SHM es el uso de redes neuronales SOM (mapa auto-organizado), la cual es una técnica de clasificación de datos arrojando como resultado una representación gráfica del estado de la estructura. Estos temas serán profundizados cuando se describan las características del caso de aplicación, objeto de estudio de este trabajo.

1.2. ARQUITECTURA DE SISTEMAS Y MARCOS ARQUITECTURALES.

Cuando se pretende especificar, desarrollar y mantener sistemas complejos es necesario buscar herramientas apropiadas tales como el uso de descripciones arquitecturales donde se

observen diferentes aspectos concretos del sistema o puntos de vista [16]. Lo dicho anteriormente constituye la base del estándar ANSI/IEEE Std 1471-2000 [IEEE 2000] y la norma IEEE ISO/IEC Std. 42010 en los cuales se define la arquitectura como la organización fundamental de un sistema, expresado en sus componentes, las relaciones entre cada uno y el ambiente, y los principios que controlan su diseño y evolución, donde también es pertinente aclarar que cuando se habla de sistema se incluyen aplicaciones, sistemas físicos, plataformas, sistema de sistemas, empresas, líneas de producción, etc. [17].

Del IEEE ISO/IEC Std. 42010 se obtiene una definición para un marco arquitectural (AF), entendido como “convenciones y prácticas comunes para una descripción de arquitectura dentro de un dominio específico o una comunidad de interesados”. En otras palabras, un marco arquitectural describe una metodología para definir un sistema en términos de un conjunto de bloques de construcción, proveer un vocabulario común e incluir las listas de estándares, herramientas recomendados para la implementación de dichos bloques [18]. Algunos de los marcos arquitecturales son presentados en la tabla 1, en esta tabla se muestra como denomina cada marco, los puntos de vista que define, y la notación recomendada.

De la tabla 1, cabe resaltar de DoDAF fue creada para facilitar la integración de sistemas a gran escala de una forma rápida y flexible, facilitando la gestión de las capacidades de los sistemas. Adicionalmente este marco arquitectural cuenta con una guía de desarrollo de arquitecturas, por tal motivo fue este marco arquitectural el seleccionado para cumplir con el propósito de este trabajo.

Tabla 1. Comparación de los principales marcos arquitecturales (Tomado de [11])

PROPUESTA	AUTODENOMINACIÓN	PUNTOS DE VISTA	DEFINE METAMODELO	NOTACIÓN RECOMENDADA
DoDAF	Marco Arquitectural	8 vistas	No	SySML, UPDM
MODAF	Marco de Arquitectura Empresarial	7 vistas	No	M3, UPDM
RM-ODP	Modelo de Referencia	5 puntos de vista	Sí	UML4ODP
"4+1" Kruchten	Modelo Arquitectural	5 puntos de vista	No	UML
TOGAF	Marco Arquitectural	4 dominios	Sí	UML
NAF	Marco Arquitectural	7 vistas + subvistas	Extiende metamodelo de UML	UPDM

PROPUESTA	AUTODENOMINACIÓN	PUNTOS DE VISTA	DEFINE METAMODELO	NOTACIÓN RECOMENDADA
JTA	Recurso de Referencia Universal	3 vistas	No	UML
DNAF	Marco Arquitectural	6 vistas	No	UPDM
FEAF	Marco de Arquitectura Empresarial	3 tipos arquitectura x 5 perspectivas	No	-
TEAF	Marco de Arquitectura Empresarial	4 vistas x 4 perspectivas	(No es público)	UML (sigue RUP)
QGEA	Marco de Arquitectura Empresarial	5 marcos de referencia	Sí	-
Zachman	Marco de Referencia	6 puntos de vista x 6 focos de interés	No (Sólo modelos conceptuales)	Sí
E2AF	Marco Arquitectural	4 aspectos x 6 niveles de abstracción x n puntos de vista	Sí	-
IAF	Marco Arquitectural	6 áreas de aspectos	No	No, define plantillas (<i>templates</i>)
AGATE	Marco de Referencia	5 vistas	Sí	UPDM
RASDS	Arquitectura de Referencia	5 puntos de vista	No	UML, SySML

1.3. DoDAF (*Department of Defense Architecture Framework*)

El marco arquitectural del Departamento de Defensa (DoDAF) o C4ISR (*Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance*) como era conocido anteriormente, es el marco arquitectural utilizado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos que fue lanzado por primera vez en 1997. DoDAF proporciona una dirección general para el desarrollo, uso y gestión de las arquitecturas con énfasis en la interoperabilidad entre los sistemas complejos de gran tamaño [9], [11]. Los productos DoDAF consisten en "puntos de vista" o conjuntos de modelos o artefactos arquitecturales que corresponden a descripciones gráficas o tabulares de una arquitectura utilizando lenguajes como SySML. Al momento de describir las arquitecturas son tenidos en cuenta puntos de vista donde se describen sistemas, operaciones, capacidades y el alineamiento con

los requerimientos establecidos en estándares técnicos. Dentro de los puntos de vista que posee DoDAF encontramos:

- Todas las vistas (AV): corresponde a la descripción general de la arquitectura completa teniendo en cuenta su contexto y alcance.
- Vista Operacional (OV): Esta vista provee descripciones de las tareas, elementos operativos y el intercambio de información necesarios para alcanzar los objetivos definidos por la arquitectura.
- Vista de Sistemas (SV): corresponde a un conjunto de productos gráficos y textuales que describen sistemas, sub sistemas, servicios e interconexiones que proveen o apoyan las funcionalidades de la arquitectura.
- Vista de Estándares Técnicos (TV): Define estándares técnicos, convenciones de implementación, reglas, entre otros criterios que faciliten la gobernabilidad de la arquitectura.

La versión más reciente de DoDAF fue lanzada en el año 2009, conociéndose como DoDAF 2.0, en la figura 2 se describen cada punto de vista por las cuales está conformada.

Figura 2. Conjunto de vistas de DoDAF 2.0. (Tomado de [19])



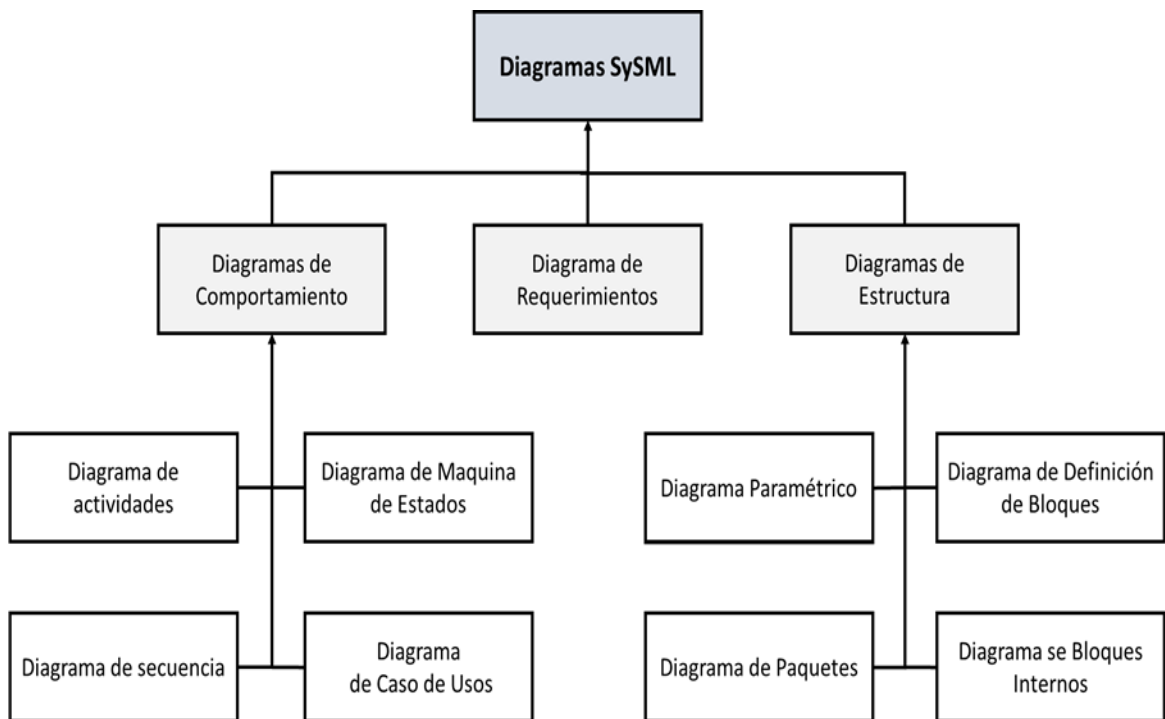
Adicionalmente, DoDAF 2.0 define una metodología de seis pasos para el desarrollo de una descripción arquitectural eficaz y eficiente de manera estandarizada y sistemática. El uso de esta metodología garantiza la correcta organización de las actividades involucradas en la planificación, diseño, implementación y mantenimiento de la descripción arquitectural, los seis pasos serán explicados en el capítulo tres de este documento.

1.4. SySML (*Systems Modeling Language*)

Systems Modeling Language (Lenguaje de modelado de sistemas) o SySML es un lenguaje de modelado gráfico de uso general para especificar, analizar, diseñar y verificar sistemas complejos que pueden incluir hardware, software, información personal y procedimientos [20]. Dentro de las diferentes aplicaciones de SySML encontramos el modelado de sistemas embebidos, vehículos eléctricos y el diseño de diversos sistemas mecatrónicos [21], [22], [23]. Es necesario mencionar que SySML usado para la elaboración de los artefactos arquitecturales de DoDAF.

Una de las características de SysML es poder colocar el comportamiento, la estructura y el análisis de requerimientos en un único modelo de diagramas integrados, estos diagramas tienen como objetivo permitir la visualización de un sistema partiendo de diferentes perspectivas por lo que cada diagrama representa una visión parcial de los elementos que componen el sistema. Los diagramas que hacen parte de SySML pueden observarse en la figura 3.

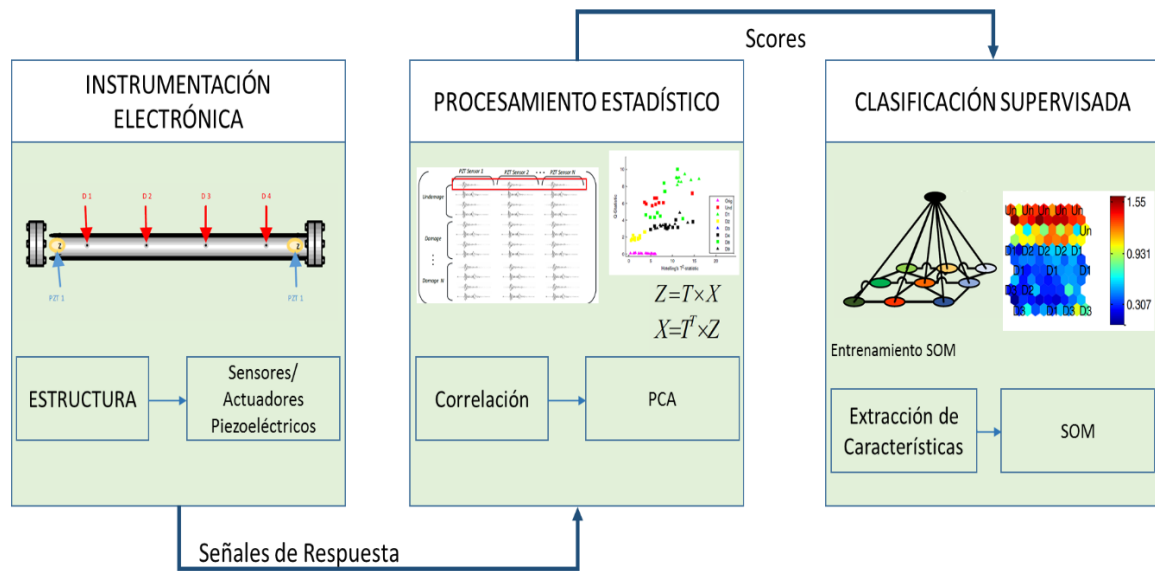
Figura 3. Diagramas de SySML (Tomado de [24])



2. CASO DE APLICACIÓN - SISTEMA PARA EL MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL (SHM) BASADO EN PIEZODIAGNOSIS

El sistema objeto de estudio es sistema de monitoreo de salud estructural (SHM) estructural realizado por Camacho et al., 2015 [12]. El sistema busca por medio del uso de técnicas no invasivas la detección y clasificación de daños en estructuras como tuberías y aeronaves, el esquema general del sistema presenta en la figura 4.

Figura 4. Metodología de evaluación de los daños (Tomado de [12])

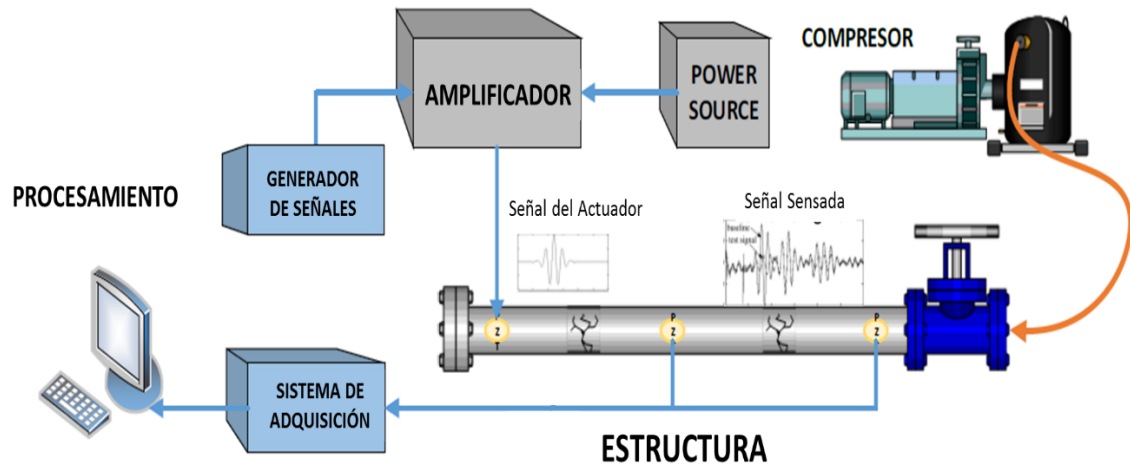


De acuerdo a la Figura 3, el procedimiento para la detección y clasificación de daños en estructuras consta de tres módulos principales, un módulo de instrumentación electrónica; un módulo de procesamiento estadístico; y un módulo de clasificación supervisada.

2.1. MÓDULO DE INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

Está basado en el principio de piezodiagnosis donde la identificación de daños se realiza por medio de la propagación de las ondas generadas por los actuadores piezoeléctricos. Este módulo cuenta con varios dispositivos piezoeléctricos instalados en la estructura que funcionan como sensores y actuadores para inducir y registrar una respuesta de onda en diferentes lugares de la estructura. El resto de la instrumentación consta de filtros de ajuste, amplificadores y sistemas de adquisición [12], un diagrama de este módulo para la aplicación del sistema en tuberías puede observarse en la Figura 4.

Figura 5. Componentes generales para la identificación de daños basados en el principio de piezodiagnos (Tomado de [12])



2.2. MÓDULO DE PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO

Está conformado por tres pasos: la construcción de una matriz de datos no correlacionados, la construcción de una matriz de datos con correlación cruzada y por último la construcción del modelo estadístico. Con base en lo anterior es posible apreciar que en el módulo de procesamiento estadístico la construcción de matrices juega un papel importante ya que contienen información sobre los diferentes tipos de daños que posteriormente se utiliza para validar el proceso de clasificación.

Adentrándose de forma más detallada se encuentra que en el primer paso de este módulo se obtiene una matriz de datos de las señales registradas de los sensores piezoeléctricos bajo condiciones ideales (no presencia de daños) y de presencia de fallos en la estructura. En el segundo paso una segunda matriz de datos se construye a partir de las funciones de correlación cruzada entre las señales piezoeléctricas sensadas y la señal de excitación de la estructura [25], [26]. El último paso del módulo es el proceso de modelado donde por medio del Análisis de Componentes Principales (PCA) en las matrices de datos se obtiene una representación de dimensiones reducidas de los datos o variables observadas [27], [28], [29].

2.3. MÓDULO DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

Calcula índices estadísticos del modelo para medir las desviaciones de cada experimento respecto al modelo PCA de condiciones ideales, los índices estadísticos mencionados anteriormente se utilizan como entradas para una red neuronal SOM (*self-organizing map*) la cual es la encargada de facilitar las áreas de clasificación e interpretación gráfica de los resultados [30], [31], [32].

2.4. ESCENARIOS DE OPERACIÓN

El sistema objeto de estudio posee dos escenarios de operación, cada escenario posee conjuntos de actividades operacionales que contribuyen a que el sistema pueda realizar el monitoreo de salud estructural.

- Escenario OFFLINE: es el escenario donde son construidos los modelos experimentales del estado de la estructura, en este escenario es donde se crea una base de datos donde se encuentran los modelos de la estructura sin daños y los modelos experimentales de la estructura cuando presenta fallas conocidas en el proceso experimental.

Todos estos modelos permiten al sistema poder detectar y comparar modelos para poder generar diagnósticos en la estructura cuando el sistema se encuentra operando en el escenario ONLINE. Para realizar los modelos experimentales es necesario seguir el procedimiento establecido al inicio de este capítulo.

- Escenario ONLINE: es el escenario donde se realiza el monitoreo periódico a la estructura, básicamente consiste en crear modelos de la estructura en operación y compararlos con los modelos experimentales obtenidos en el escenario OFFLINE. En este escenario es donde se identifican y clasifican las fallas presentes en la estructura.

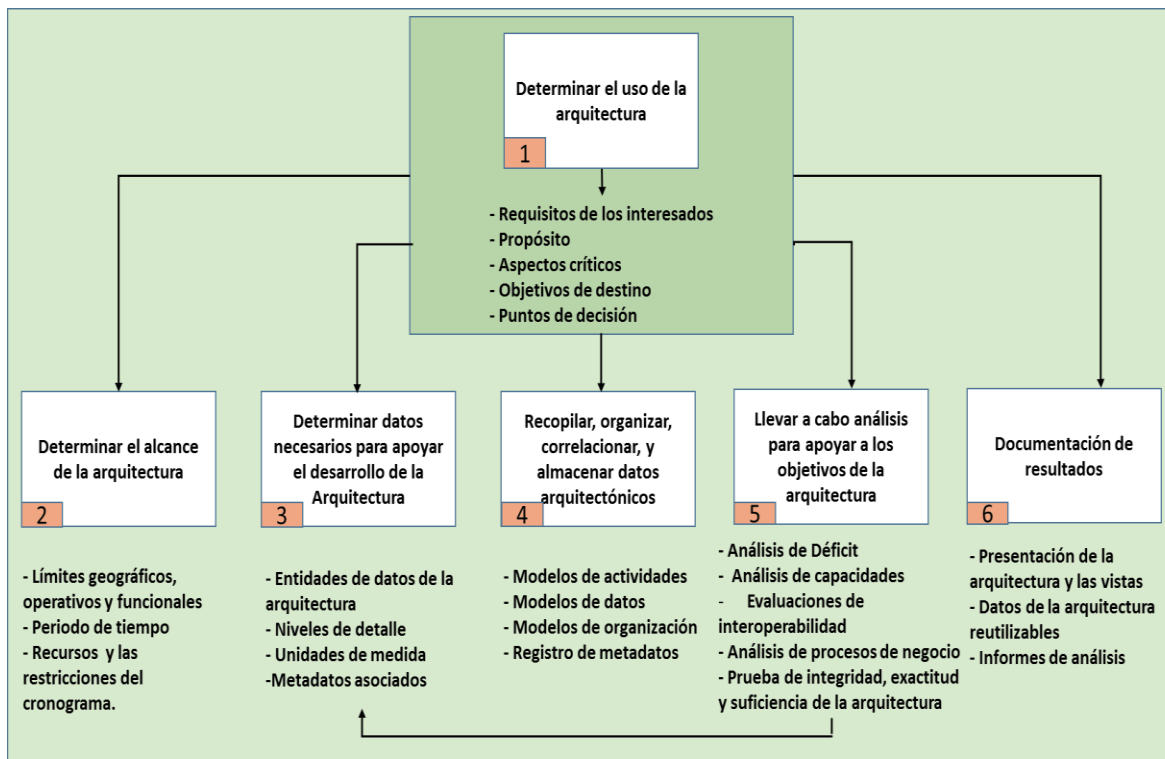
3. ARQUITECTURA DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL (SHM) BASADO EN PIEZODIAGNOSIS

Como estrategia para la óptima realización desarrollo de una descripción arquitectural se llevó a cabo un procedimiento de seis pasos presentado por el *Department of Defense Architecture Framework* en su versión 2.0. en este capítulo también es presentado el orden en el que fueron realizados cada uno de los artefactos arquitecturales que hacen parte de la arquitectura de un sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.

3.1. PROCEDIMIENTO DE 6 PASOS PARA LA ELABORACIÓN DE LA ARQUITECTURA

Este procedimiento es mostrado en la figura 5 y muestra las sub etapas que fueron realizadas dentro del proceso del desarrollo de la arquitectura.

Figura 6. Procedimiento de seis pasos para el desarrollo de la arquitectura (Tomado de [19])



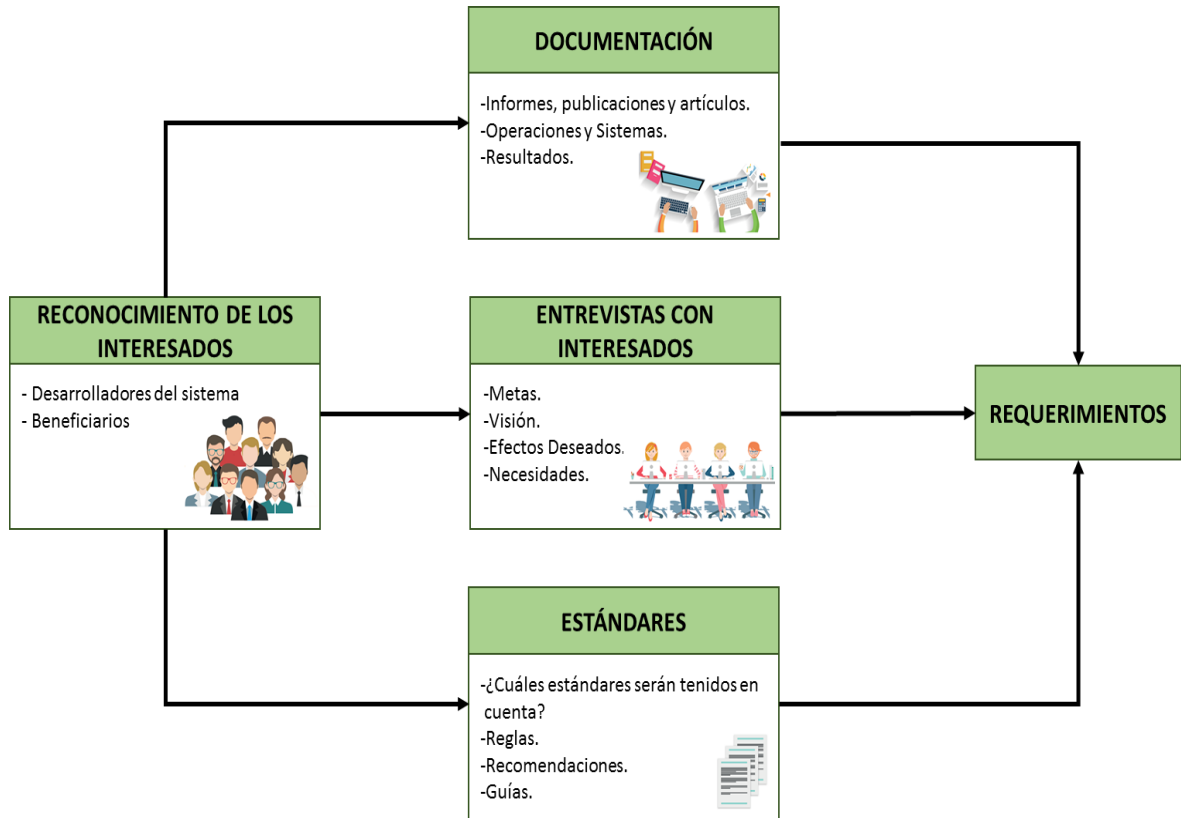
A continuación, es presentada una explicación de los pasos propuestos en la metodología para desarrollo de la arquitectura:

3.1.1. Paso 1 - Determinar el uso de la arquitectura. En este paso, son definidos la finalidad de la arquitectura, los datos necesarios para su construcción; el impacto potencial de la arquitectura y los métodos que se utilizarán en el desarrollo de la arquitectura tales como el procedimiento para el hallazgo de brechas de estandarización. Adicionalmente se realiza el levantamiento de requerimientos por parte de los interesados del proyecto. Toda la información mencionada anteriormente es presentada en la tabla 2.

Tabla 2. Ficha técnica - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosís.

Ficha técnica - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosís.	
Finalidad de la arquitectura	Con la elaboración de la arquitectura se obtienen una serie de modelos que describen el sistema desde distintos puntos de vistas, estos puntos de vistas deben ser suficientes para poder aportar la información necesaria para el hallazgo de brechas en el cumplimiento de estándares.
Datos necesarios	Se requieren los estándares existentes en el campo de aplicación del sistema, adicionalmente todos los informes, publicaciones y reportes donde se muestre la forma como el sistema opera, los elementos que conforman el sistema, logros alcanzados en el desarrollo del sistema.
Impacto potencial	Encontrar brechas en el cumplimiento de estándares, las cuales serán usadas como punto de partida para la elaboración de un plan estratégico conformado por un portafolio de proyectos que buscan eliminar las brechas encontradas.
Requerimientos	El levantamiento de requerimientos fue realizado por medio de la metodología mostrada en la figura 7, en ella se muestra las fuentes de información que se usaron para obtener el diagrama de requerimientos.

Figura 7. Procedimiento para el levantamiento de requerimientos



En el procedimiento mostrado en la figura 8, hace énfasis en el levantamiento de requerimientos a partir de tres procedimientos, el primero consiste en revisar cada uno de los documentos existentes acerca del sistema estudiado; el segundo procedimiento consiste en entrevistar a los interesados para recolectar información acerca de la visión, metas, necesidades y efectos deseados del sistema y, por último, definir los requerimientos que se encuentran dentro de los estándares.

Los diagramas de requerimientos fueron realizados usando el lenguaje SysML y e son presentados en las figuras 8 y 9.

Figura 8. Diagrama de requerimientos – Enfoque de Operaciones.

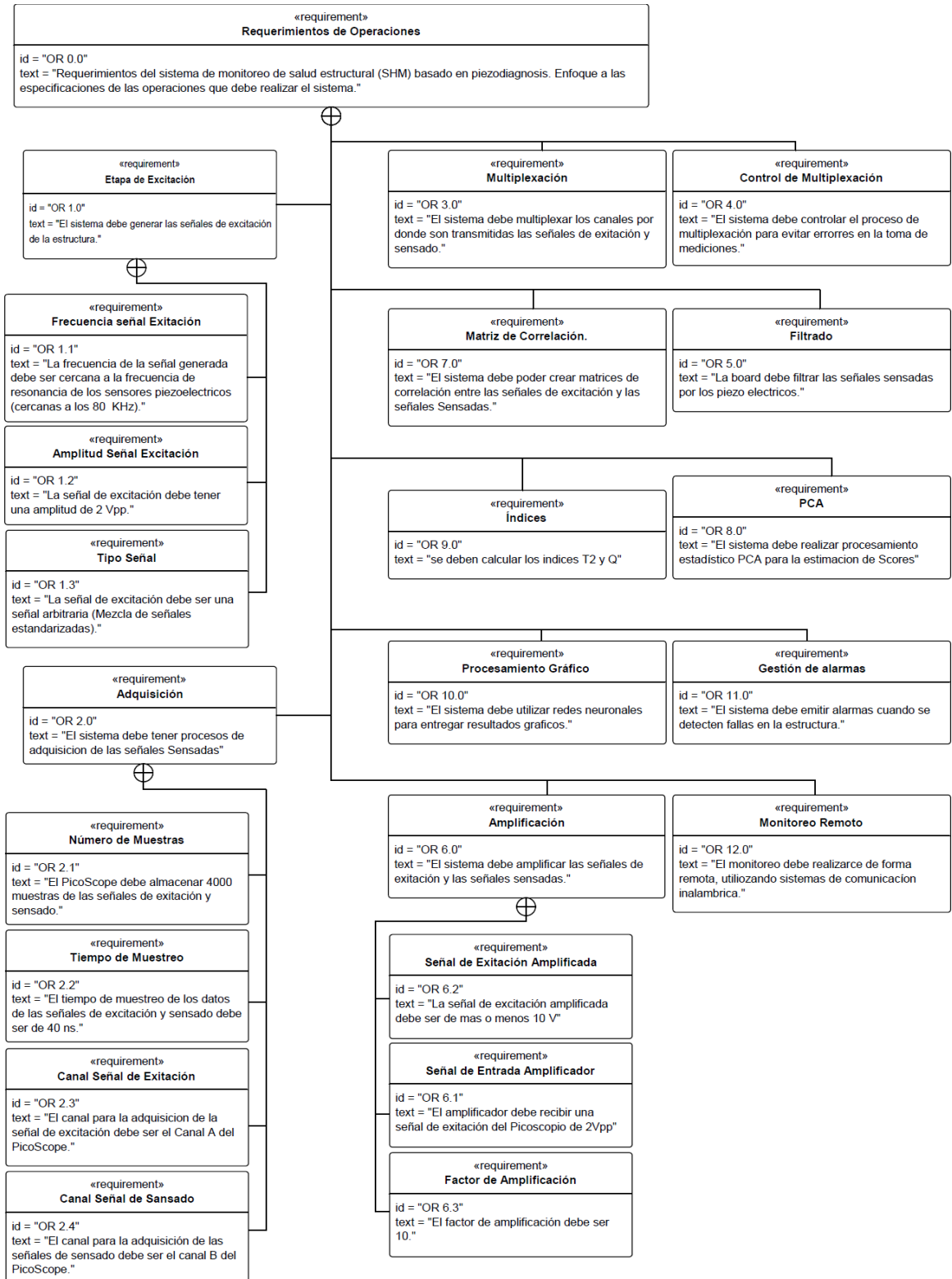
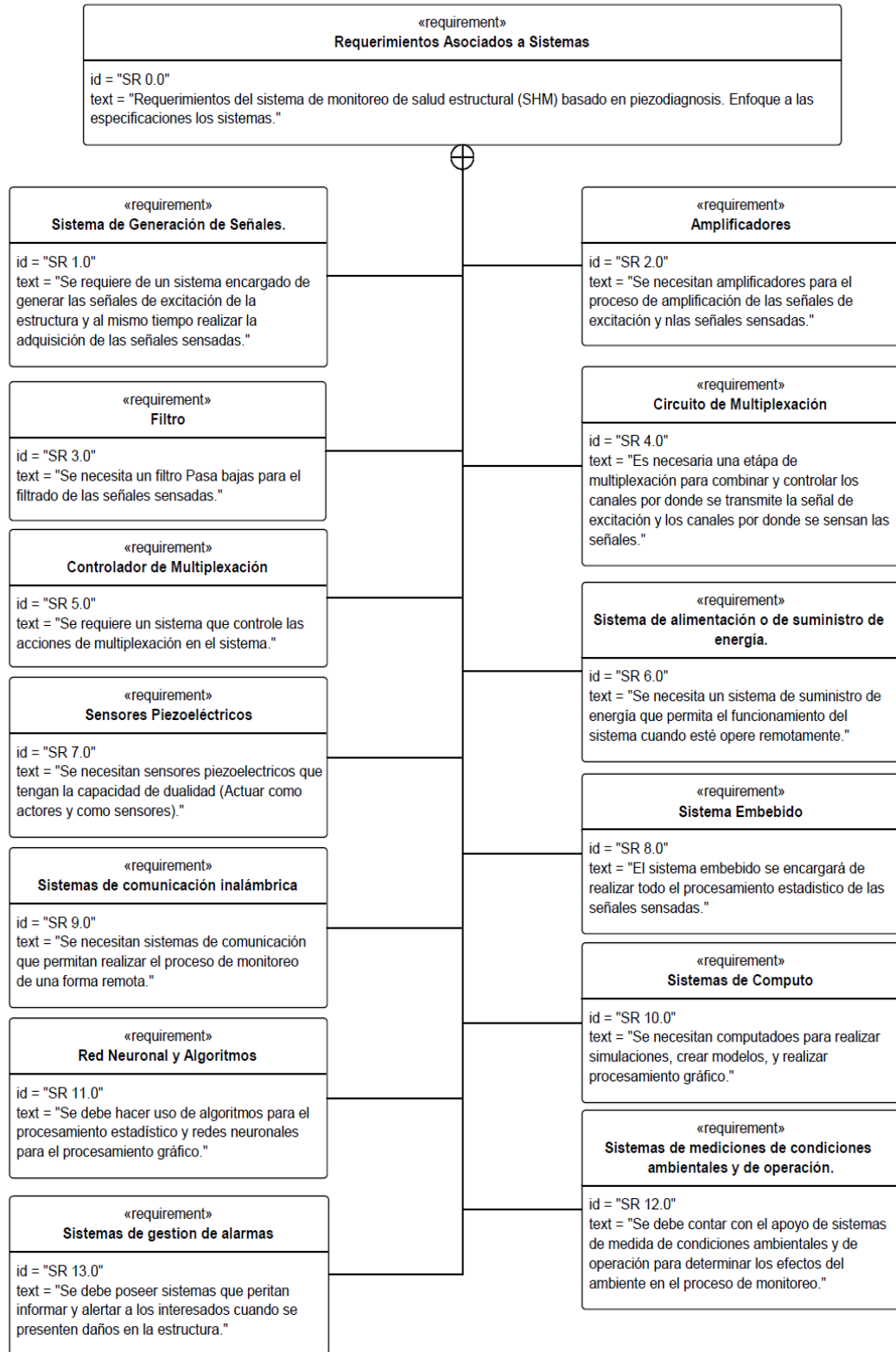


Figura 9. Diagrama de requerimientos – Enfoque de Sistemas.



3.1.2. Paso 2 - Determinar el alcance de la arquitectura. Se definen los límites de la descripción arquitectónica, definiendo su contexto y el nivel de detalle requerido por el contenido arquitectónico como la misión, funciones y los estados As-Is (Como es el sistema) y To-Be (como debe ser el sistema).

La arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnos, será realizada con base en los montajes experimentales obtenidos hasta ahora. Los montajes han sido realizados en laboratorios, y la mayor parte de los resultados se han obtenido en la aplicación de este sistema en tuberías metálicas. Adicionalmente, la arquitectura tiene en cuenta la información de los requerimientos obtenidos de los interesados, por tal motivo, la arquitectura posee información del estado To -be del sistema.

3.1.3. Paso 3 - Determinar datos necesarios para apoyar el desarrollo de la Arquitectura. En este paso, se expresa el nivel de detalle requerido de cada una de las entidades de datos y atributos. Se incluyen los datos necesarios para la ejecución del proceso.

Para la arquitectura del sistema de monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnos, Las entidades tenidas en cuenta son:

- Actividades operacionales: Todas las actividades necesarias para el funcionamiento del sistema. Adicionalmente, deben especificarse las actividades para cada uno de los escenarios de operación del sistema (OFFLINE y ONLINE).
- Capacidades¹: Las capacidades que actualmente alcanza total o parcialmente el sistema, adicionalmente se tienen en cuenta las capacidades contempladas en los requerimientos de los interesados.
- Sistemas: Todos los sistemas que conforman el sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnos.
- Estándares: Los estándares usados para la elaboración de la arquitectura son:

E2983 – 14 – Guía Estándar para la Aplicación de Emisión Acústica para Monitoreo de Salud Estructural. (*Standard Guide for Application of Acoustic Emission for Structural Health Monitoring*). Esta guía proporciona las definiciones y principios fundamentales para la aplicación de monitoreo de salud estructura (SHM) utilizados métodos no invasivos como la emisión acústica. Esta Guía realizada por la organización de estándares internacionales *ASTM International*, presenta: Terminología y definiciones de SHM, Procedimiento recomendado de SHM por medio de emisión acústica,

¹ En este contexto, capacidad corresponde a la traducción del término en inglés *Capability* y se refiere a la habilidad que tiene un sistema de realizar una tarea en particular o seguir un curso de acciones en particular.

Requerimientos esenciales para el desarrollo de los procedimientos de SHM, selección de sistemas, métodos de adquisición y análisis de datos, diagnóstico, seguimiento y predicción [33].

E650 – 97 – Guía Estándar para Montaje de Sensores Piezoeléctricos de Emisión Acústica. (*Standard Guide for Mounting Piezoelectric Acoustic Emission Sensors*). Esta Guía realizada por la organización de estándares internacionales *ASTM International*, se encarga de proporcionar directrices para el montaje de sensores piezoeléctricos de emisión acústica [34].

3.1.4. Paso 4 - Recopilar, organizar, correlacionar, y almacenar datos arquitectónicos. Se determina cómo recopilar y organizar los datos para definir las vistas y artefactos arquitecturales de la arquitectura que se construirá.

Para la arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnos, se tuvo en cuenta el enfoque de los estándares consultados, y con base en esto se obtuvieron las siguientes apreciaciones.

- El enfoque de los estándares consultados está centrado en los procesos que debe realizar un sistema para poder realizar monitoreo de salud estructural, adicionalmente también se presentan algunos de los elementos que el sistema debe tener.
- Las recomendaciones de los procedimientos y sistemas mencionado en los estándares afectan las capacidades del sistema de monitoreo de salud estructural, por lo tanto, las capacidades del sistema deben ser tenidas en cuenta en la elaboración de la descripción de la arquitectura.
- Con base en lo anterior, las vistas tenidas en cuenta para el desarrollo de la arquitectura y los artefactos arquitecturales que conforman la arquitectura son presentados en la tabla 3.

3.1.5. Paso 5 - Análisis para apoyar a los objetivos de la arquitectura. Este paso se identifican procesos adicionales y requisitos necesarios para completar la descripción arquitectónica.

Para la arquitectura del sistema de monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnos, se realizó adicionalmente el diagrama de contexto del sistema el cual se incorpora dentro del artefacto arquitectural AV-1. Adicionalmente se crean diversas matrices para verificar si los requerimientos de los interesados se encuentran representados dentro de los artefactos de la arquitectura (Ver Capitulo 5), matrices para el hallazgo de brechas en estandarización (Ver Capítulo 4).

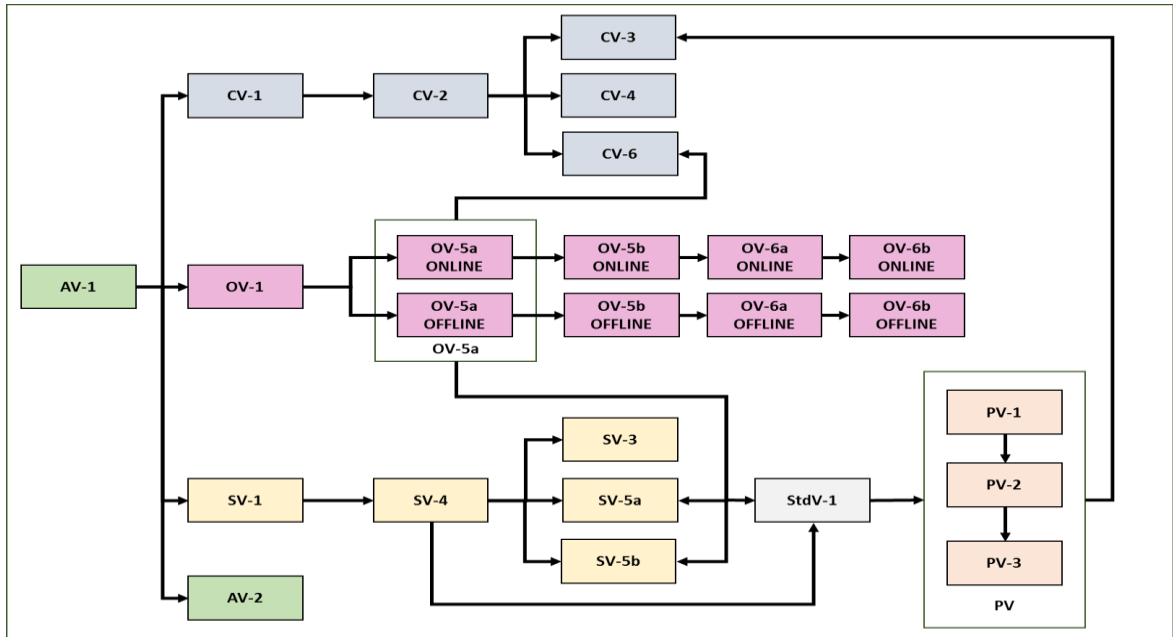
Tabla 3. Vistas y artefactos arquitecturales - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosís.

VISTAS Y ARTEFACTOS ARQUITECTURALES					
Todas las Vistas		Vista de Operaciones		PV-3	Relación de Proyectos con Capacidades.
AV-1	Descripción e Información Resumida.	OV-1	Descripción Gráfica de Alto Nivel de Operaciones.	Vista de Sistemas	
AV-2	Diccionario Integrado.	OV-5a	Jerarquía de Actividades Operacionales	SV-1	Descripción de Sistemas e Interfaces.
Vista de Capacidades		OV-5b	5b Modelo de Actividades Operacionales	SV-3	Matriz de Relación Sistemas - Sistemas.
CV-1	Visión.	OV-6a	Modelo de Reglas Operacionales	SV-4	Descripción de Funciones de Sistemas.
CV-2	Taxonomía de Capacidades.	OV-6b	Descripción de Transición de Estados	SV-5a	Matriz de Relación Entre Actividades Operacionales y Funciones de Sistemas.
CV-3	Fases de Capacidades.	Vista de Proyectos		SV-5b	Matriz de Relación Entre Actividades Operacionales y Sistemas.
CV-4	Dependencia de Capacidades.	PV-1	Relaciones del Portafolio de Proyectos.	Vista de Estándares	
CV-6	Relación Capacidades - Actividades Operacionales.	PV-2	Línea de Tiempo de Proyectos.	StdV-1	Perfil de Estándares.

3.1.6. Paso 6 - Documentación de resultados. El paso final en el proceso de desarrollo de la arquitectura implica la creación de los artefactos arquitecturales. El procedimiento usado para la elaboración de los artefactos se presenta en la figura 10.

3.1.6.1. Todas las vistas. Los modelos descritos en Todas las Vistas (AV) proporcionan una visión general e información perteneciente a toda la descripción arquitectónica de tal forma no representa un punto de vista distinto. En ella se encuentran elementos como el alcance, el contexto, supuestos, etc.

Figura 10. Procedimiento para la elaboración de los artefactos arquitecturales.

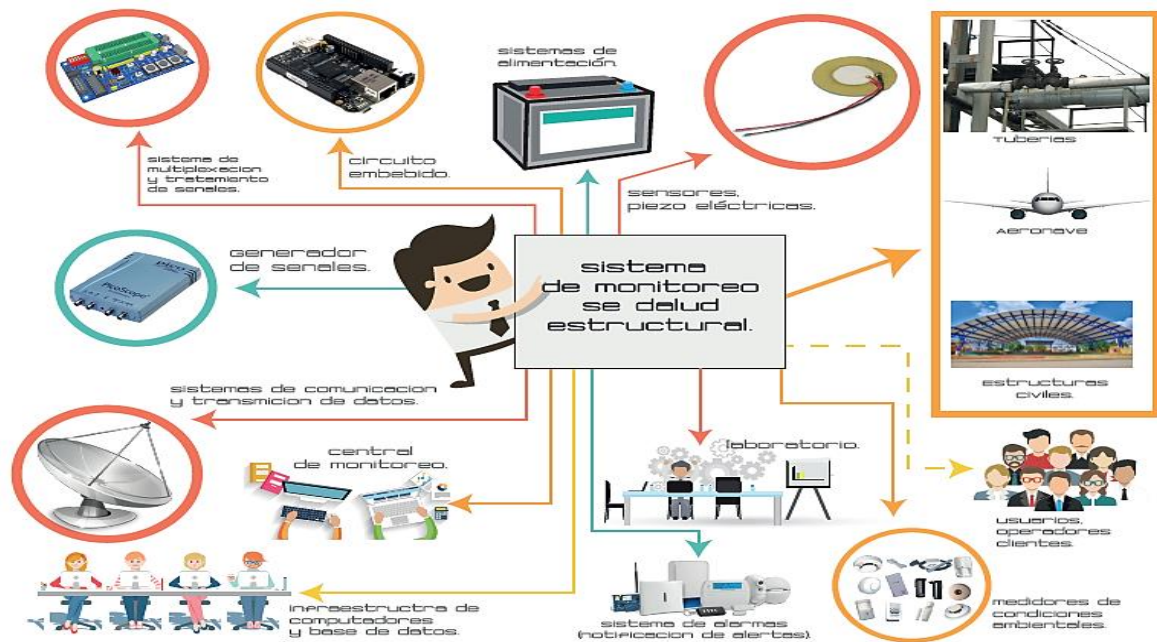


Los artefactos arquitecturales que fueron tenidos en cuenta para Todas las Vistas son los siguientes:

- AV-1 Descripción e Información Resumida: Muestra los antecedentes, visiones, metas, objetivos, planes, actividades, artefactos que hacen parte de la descripción arquitectural. En la figura 11 se muestra el diagrama de contexto de la arquitectura. El modelo AV-1 es presentado en el Anexo A de este documento.
- AV-2 Diccionario Integrado: Presenta las definiciones de todos los términos utilizados en los artefactos arquitecturales. El diccionario Integrado es presentado en el Anexo B de este documento.

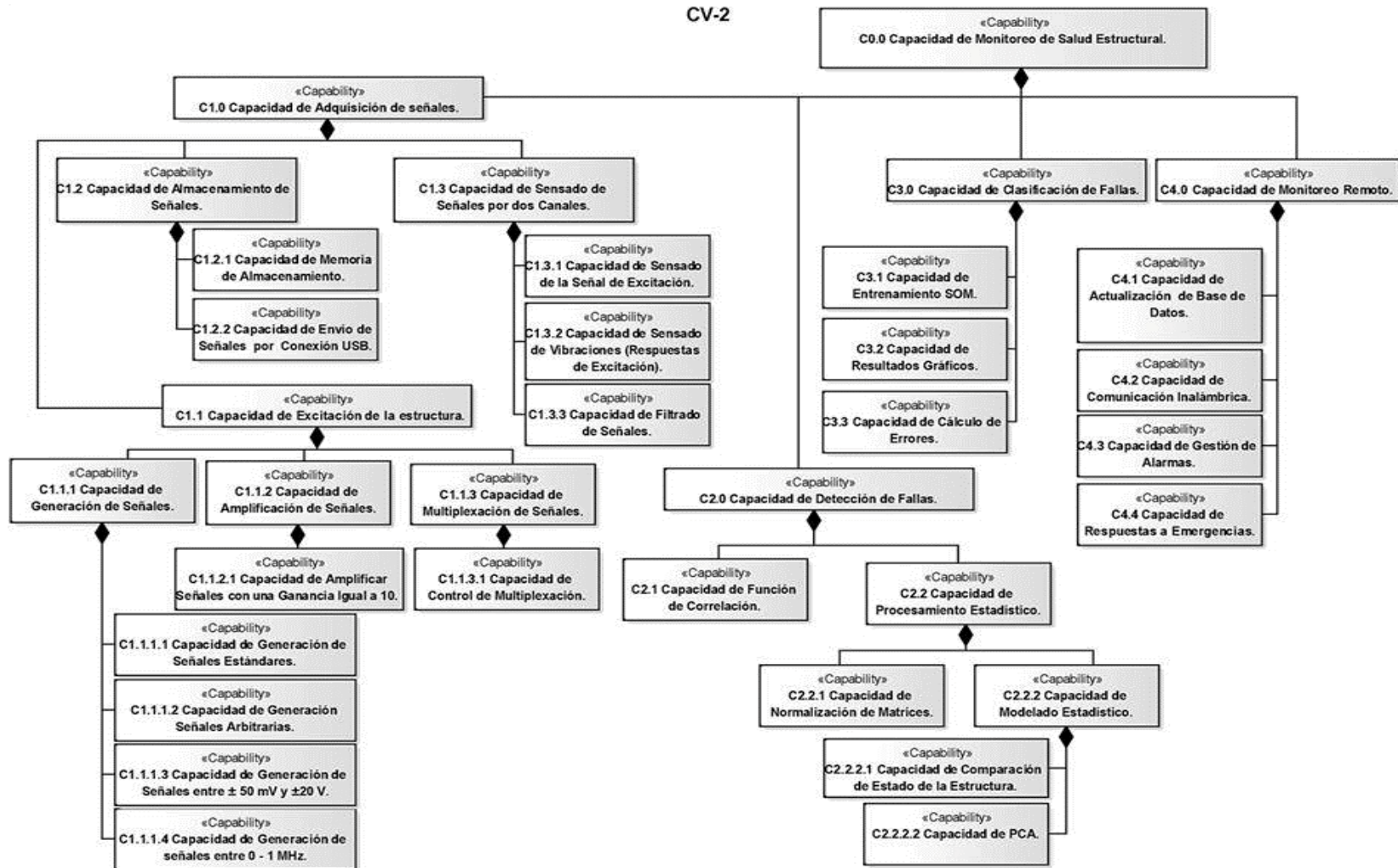
3.1.6.2. Vista de Capacidades. La vista de capacidades, es realizada debido a la necesidad de los interesados de poder alinear todos los esfuerzos que se realicen para la construcción del sistema (representados en proyectos y adquisiciones), con la evolución o incremento de las capacidades que debe tener el sistema para realizar el monitoreo de salud estructural. Los artefactos arquitecturales de esta vista son los encargados de proveer una descripción de la taxonomía y evolución de las capacidades. Los artefactos arquitecturales que fueron tenidos en cuenta en la vista de capacidades son los siguientes:

Figura 11. Diagrama de contexto - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnos.



- CV-1 Visión: Este modelo presenta la visión general del sistema abordando las preocupaciones y esfuerzos transformación, este modelo es presentado en el Anexo C de este documento.
- CV-2 Taxonomía de Capacidades: El modelo es el encargado de proveer la jerarquía de las capacidades del sistema. Estas capacidades se pueden ser actuales y futuras. El CV-2 es mostrado en la figura 12.
- CV-3 Fases de Capacidades: Muestra el alcance de capacidades en diferentes períodos de tiempo, este modelo es obtenido gracias a la relación que existe entre los proyectos asociados a alcanzar las capacidades del sistema, por lo tanto, es esencial el desarrollar inicialmente los artefactos arquitecturales de la vista de proyectos. Este modelo es presentado en el capítulo 5 de este documento de este documento.
- CV-4 Dependencia de Capacidades: muestra las dependencias entre las capacidades, este modelo es presentado en el Anexo D de este documento.
- CV-6 Relación Capacidades - Actividades Operacionales: Este modelo muestra las relaciones entre las capacidades y las actividades operacionales que apoyan esas capacidades. Este modelo es presentado en el Anexo E.

Figura 12. CV-2 - Taxonomía de Capacidades



3.1.6.3. Vista de Operaciones. Esta vista describe las actividades operacionales, reglas y restricciones necesarias para llevar a cabo las operaciones del sistema. Los artefactos arquitecturales que fueron tenidos en cuenta en la vista de operaciones son los siguientes:

- OV-1 Descripción Grafica de Alto Nivel de Operaciones: Es una descripción gráfica de las de alto nivel de las operaciones que deben realizarse para realizar el monitoreo de salud estructural. El OV-1 es presentado en la figura 1.
- OV-5a Jerarquía de Actividades Operacionales: Muestra la organización jerárquica de las operaciones del sistema. Como el sistema estudiado presenta dos escenarios de operación (OFFLINE y ONLINE), fue necesario realizar este modelo para cada escenario. El OV5- a para el escenario ONLINE es presentado en la figura 13 y el OV-5a para el escenario OFFLINE es presentado en el Anexo F.
- OV-5b Modelo de Actividades Operacionales: Muestra las relaciones de dependencia entre las actividades operacionales, este modelo fue realizado para cada uno de los escenarios de operación del sistema (OFFLINE y ONLINE). Estos modelos son presentados en los Anexos G y H.
- OV-6a Modelo de Reglas Operacionales: Este modelo describe la actividad operativa del sistema identificándolas reglas y restricciones de las operaciones. Este modelo fue realizado para cada uno de los escenarios de operación del sistema (OFFLINE y ONLINE). El OV6- a para el escenario ONLINE es presentado en la figura 14 y el OV-6a para el escenario OFFLINE es presentado en el Anexo I.
- OV-6b Descripción de Transición de Estados: Presenta los estados operacionales y las condiciones de transición entre ellos, este modelo fue realizado para cada uno de los escenarios de operación del sistema (OFFLINE y ONLINE). Estos modelos son presentados en los Anexos J y K.

Figura 13. OV-5a - Jerarquía de Actividades Operacionales Escenario ONLINE

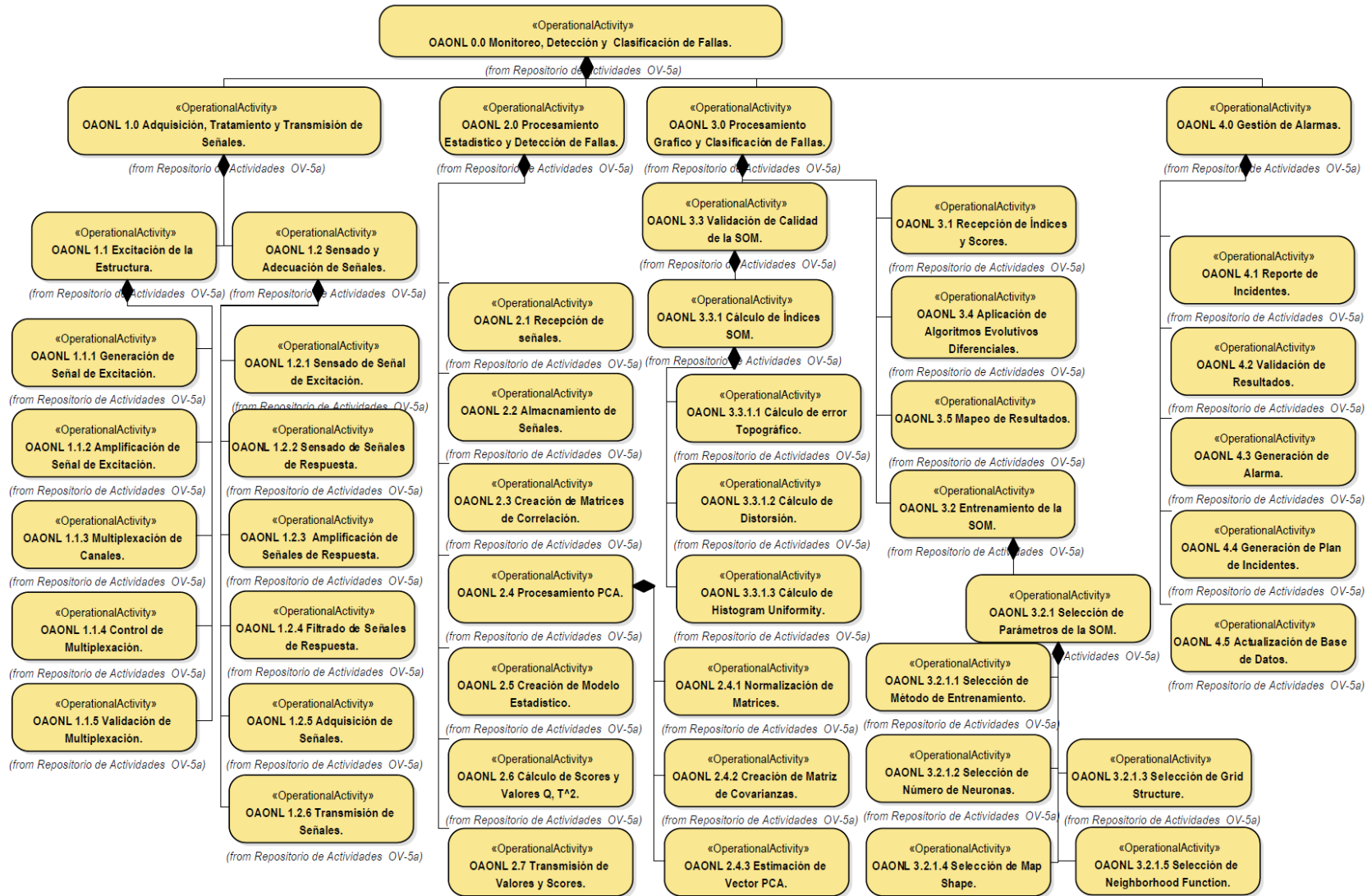
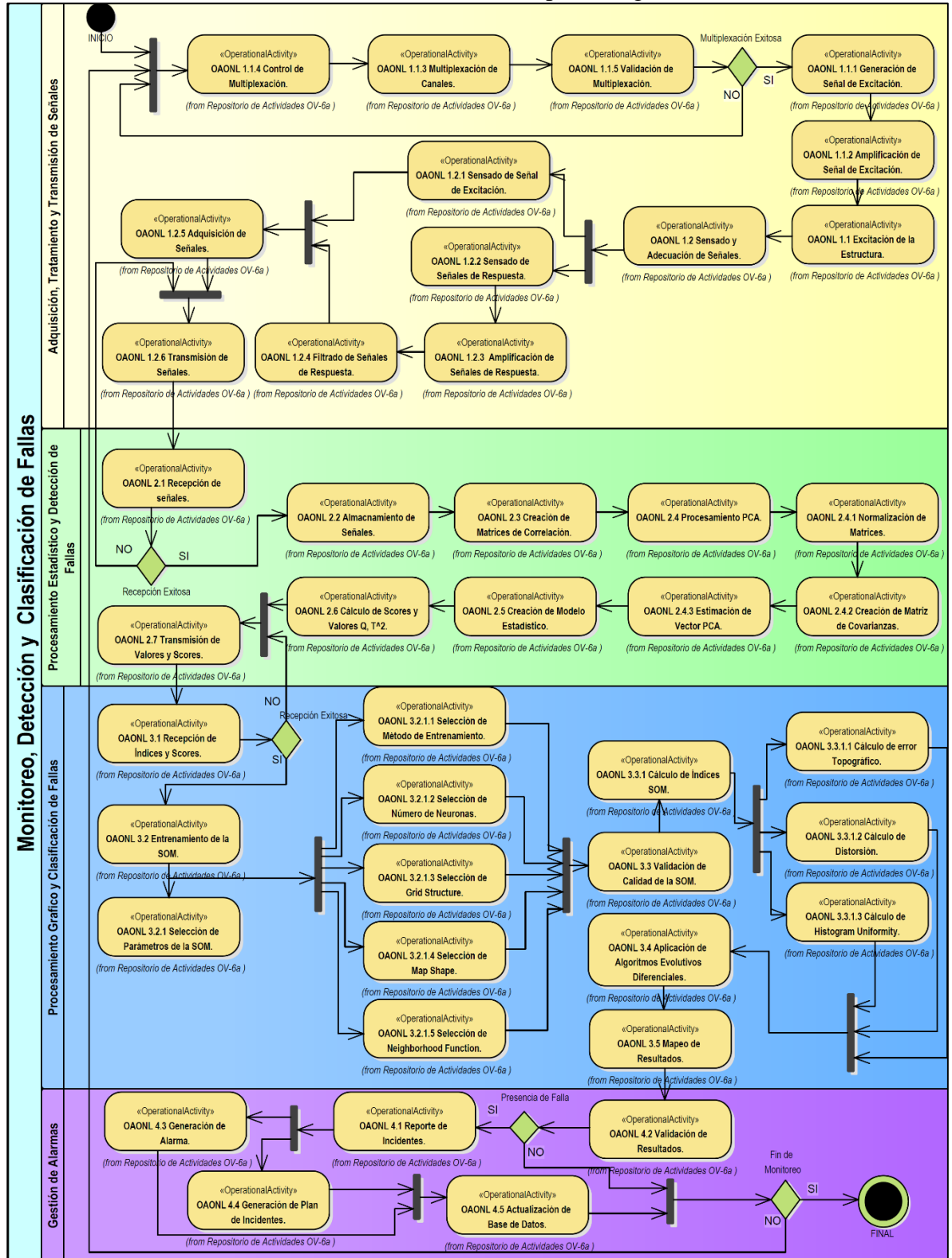


Figura 14. OV-6a Escenario ONLINE - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnos.



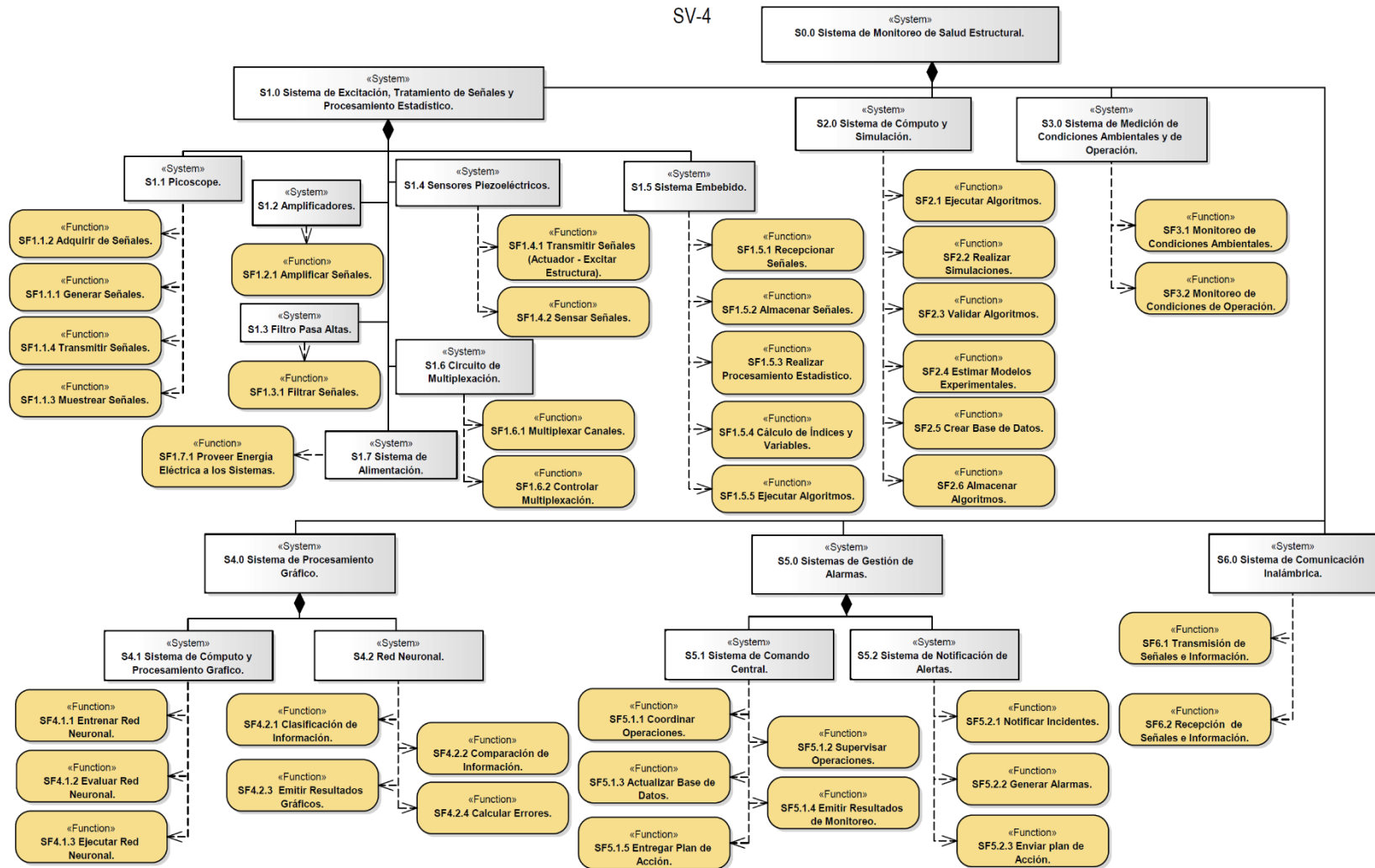
3.1.6.4. Vista de Sistemas. Los modelos de esta vista, describen los sistemas y sus interconexiones necesarios para el funcionamiento del sistema de monitoreo de salud estructural. Los artefactos arquitecturales que fueron tenidos en cuenta en la vista de sistemas son los siguientes:

- SV-1 Descripción de Sistemas e Interfaces: Muestra la identificación de los subsistemas y elementos del sistema de monitoreo de salud estructural. Este modelo es presentado en el Anexo L.
- SV-3 Matriz de Relación Sistemas – Sistemas: Muestra las relaciones existentes entre los sistemas que hacen parte de la arquitectura. Este modelo es presentado en el Anexo M.
- SV-4 Descripción de Funciones de Sistemas: Muestra todos los elementos y subsistemas que hacen parte del sistema de monitoreo de salud estructural y describe las funciones que son realizadas por estos. Este modelo es presentado en la figura 15.
- SV-5a Matriz de Relación Entre Actividades Operacionales y Funciones de Sistemas: Es un mapeo de las relaciones existentes entre las funciones del sistema y sus actividades operacionales. Este modelo es presentado en el Anexo N.
- SV-5b Matriz de Relación Entre Actividades Operacionales y Sistemas: Es una representación tabular entre los sistemas de la arquitectura y las actividades operacionales. Este módulo es presentado en el Anexo O.

3.1.6.5. Vista de Estándares. Esta vista describe el conjunto de normas y directrices que gobiernan partes o elementos de la arquitectura. El artefacto arquitectural tenido en cuenta para la vista de estándares es el StdV-1 o perfil de estándares, este modelo consiste en presentar un listado de los estándares relacionados al campo de aplicación estudiado. El modelo StdV-1 es presentado en el Anexo P.

3.1.6.6. Vista de Proyectos. Los modelos de esta vista, describen los programas, portafolios y líneas de proyectos y sus efectos en la creación y evolución de las capacidades del sistema de monitoreo de salud estructural. Los artefactos arquitecturales que fueron tenidos en cuenta en la vista de sistemas son mostrados y explicados en el capítulo 5 de este trabajo.

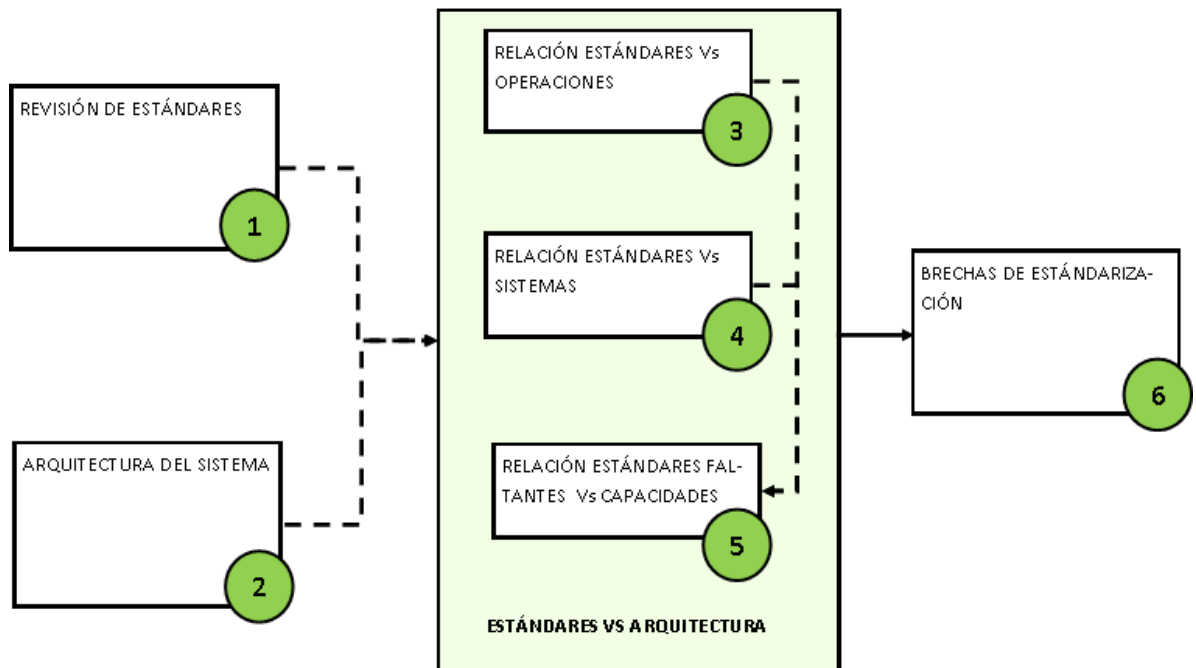
Figura 15. SV-4 - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnos.



4. HALLAZGOS DE BRECHAS DE ESTANDARIZACIÓN DEL SISTEMA PARA EL MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL (SHM) BASADO EN PIEZODIAGNOSIS.

Con la elaboración de la arquitectura fueron obtenidos los modelos que describen el sistema desde sus capacidades, operaciones y sistemas. Adicionalmente, para definir las reglas, requerimientos y directrices de estandarización, fue necesario consultar los estándares E2983 – 14 – Guía Estándar para la Aplicación de Emisión Acústica para Monitoreo de Salud Estructural. (*Standard Guide for Application of Acoustic Emission for Structural Health Monitoring*) y el E650 – 97 – Guía Estándar para Montaje de Sensores Piezoeléctricos de Emisión Acústica. (*Standard Guide for Mounting Piezoelectric Acoustic Emission Sensors*). Los modelos obtenidos y la revisión de los estándares aportan la información necesaria para el hallazgo de brechas en el cumplimiento de estándares. Para encontrarlas brechas de estandarización se propone la siguiente metodología, ver figura 16.

Figura 16. Metodología para el hallazgo de brechas - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.



De acuerdo a la figura 16:

- El primer paso consiste en hallar cuales son los enfoques de interés de los estándares, de acuerdo a los estándares consultados se encuentran recomendaciones, directrices y exigencias enfocadas a los procesos que debe tener el procedimiento de monitoreo de

salud estructural y adicionalmente menciona las etapas y sistemas que deben tener en cuenta al momento de realizar dicho procedimiento.

- En el segundo paso se seleccionan los modelos de la arquitectura que nos permitirán hallar las brechas. Los modelos seleccionados para tal fin son las pertenecientes capacidades, estándares, operaciones y sistemas.
- Posteriormente se procede a realizar diversas matrices de relación entre los estándares y los otros modelos.

La primera matriz realizada se encarga de comparar los estándares asociados a procesos con las operaciones realizadas en los dos escenarios de operación del sistema (Escenarios OFFLINE y ONLINE). En la tabla 4 se muestra la matriz Actividades operacionales Vs Estándares para el escenario ONLINE donde se muestra las operaciones que están relacionadas con las directrices de los estándares, permitiendo encontrar brechas de estandarización, es decir, las directrices que no tienen relaciones con las operaciones del sistema. La matriz Actividades operacionales Vs Estándares para el escenario OFFLINE es presentada en el Anexo Q.

Las brechas encontradas en esta parte son las siguientes:

- Realizar estudios asociados a la estimación de pérdidas en las señales de excitación y las señales sensadas.
- Estudiar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones ambientales y de operación.
- Estimación de los procesos de re-inspección de las estructuras.

La segunda matriz realizada se encarga de comparar los estándares asociados a sistemas con los subsistemas y elementos de los cuales está constituido el sistema. En la tabla 5 se muestra la matriz Sistemas Vs Estándares.

Las brechas encontradas en esta parte son las siguientes:

- Es necesario establecer criterios para la selección de los sensores piezoeléctricos.
- Se deben investigar sobre cuales la mejor configuración de los sistemas para alcanzar las capacidades propuestas.
- Mejoras en el sistema de comunicación y suministro de energía.

Tabla 4. Relación Actividades Operacionales Vs Estándares. Escenario ONLINE.

DIRETRICES DE LOS ESTÁNDARES	ACTIVIDADES OPERACIONALES																	
	Comparar las Condiciones Ambientales y de Funcionamiento.	Comparar los Datos de Monitoreo.	E2983-14 - Guía Estándar para la Aplicación de Emisión Acústica para SHM.	E650 - 97 - Guía Estándar para Montaje de Sensores Piezoeléctricos de Emisión Acústica.	Filtrado de Señales.	Número de Señales para el Estudio.	Perdidas.	Re-Inspección.	Recopilar Características de Emisión Acústica.	Recopilar Condiciones Ambientales y de Operación.	Recopilar de Características de Propagación de Ondas.	Recopilar Historial de la Operación.	Recopilar Propiedades del Material.	Requerimientos para Diagnóstico y Monitoreo.	Requerimientos para Recolección de Información de la Estructura.	Requerimientos de Análisis Datos.	Recopilar Información Sobre Diseño Estructural.	Verificar Respuesta.
OAONL 0.0 Monitoreo, Detección y Clasificación de Fallas.	X	X	X	X												X		
OAONL 1.0 Adquisición, Tratamiento y Transmisión de Señales.																		
OAONL 1.1 Excitación de la Estructura.			X			X												X
OAONL 1.1.1 Generación de Señal de Excitación.			X			X												X
OAONL 1.1.2 Amplificación de Señal de Excitación.																		
OAONL 1.1.3 Multiplexación de Canales.																		
OAONL 1.1.4 Control de Multiplexación.																		
OAONL 1.1.5 Validación de Multiplexación.																		
OAONL 1.2 Sensado y Adecuación de Señales.			X		X	X				X						X		X
OAONL 1.2.1 Sensado de Señal de Excitación.			X			X										X		
OAONL 1.2.2 Sensado de Señales de Respuesta.			X			X				X						X		X
OAONL 1.2.3 Amplificación de Señales de Respuesta.																		
OAONL 1.2.4 Filtrado de Señales de Respuesta.			X		X											X		
OAONL 1.2.5 Adquisición de Señales.			X			X				X						X		X
OAONL 1.2.6 Transmisión de Señales.																		
OAONL 2.0 Procesamiento Estadístico y Detección de Fallas.		X	X													X		
OAONL 2.1 Recepción de señales.																		
OAONL 2.2 Almacenamiento de Señales.																		
OAONL 2.3 Creación de Matrices de Correlación.																		
OAONL 2.4 Procesamiento PCA.		X	X													X		
OAONL 2.4.1 Normalización de Matrices.		X	X													X		
OAONL 2.4.2 Creación de Matriz de Covarianzas.		X	X													X		
OAONL 2.4.3 Estimación de Vector PCA.		X	X													X		
OAONL 2.5 Creación de Modelo Estadístico.		X	X													X		
OAONL 2.6 Cálculo de Scores y Valores Q, T ² .		X														X		
OAONL 2.7 Transmisión de Valores y Scores.																		
OAONL 3.0 Procesamiento Grafico y Clasificación de Fallas.		X	X						X	X			X		X	X		X

DIRECTRICES DE LOS ESTÁNDARES																		
ACTIVIDADES OPERACIONALES	Comparar las Condiciones Ambientales y de Funcionamiento.	Comparar los Datos de Monitoreo.	E2983-14 - Guía Estándar para la Aplicación de Emisión Acústica para SHM.	E650 - 97 - Guía Estándar para Montaje de Sensores Piezoeléctricos de Emisión Acústica.	Filtrado de Señales.	Número de Señales para el Estudio.	Perdidas.	Re-Inspección.	Recopilar Características de Emisión Acústica.	Recopilar Condiciones Ambientales y de Operación.	Recopilar de Características de Propagación de Ondas.	Recopilar Historial de la Operación.	Recopilar Propiedades del Material.	Requerimientos para Diagnóstico y Monitoreo.	Requerimientos para Recolección de Información de la Estructura.	Requerimientos de Análisis Datos.	Recopilar Información Sobre Diseño Estructural.	Verificar Respuesta.
OAONL 3.1 Recepción de Índices y Scores.																		
OAONL 3.2 Entrenamiento de la SOM.																		
OAONL 3.2.1 Selección de Parámetros de la SOM.																		
OAONL 3.2.1.1 Selección de Método de Entrenamiento.																		
OAONL 3.2.1.2 Selección de Número de Neuronas.																		
OAONL 3.2.1.3 Selección de Grid Structure.																		
OAONL 3.2.1.4 Selección de Map Shape.																		
OAONL 3.2.1.5 Selección de Neighborhood Function.																		
OAONL 3.3 Validación de Calidad de la SOM.																		
OAONL 3.3.1 Cálculo de Índices SOM.		X	X					X	X			X	X					
OAONL 3.3.1.1 Cálculo de error Topográfico.		X						X	X			X	X					
OAONL 3.3.1.2 Cálculo de Distorsión.		X						X	X			X	X					
OAONL 3.3.1.3 Cálculo de Histogram Uniformity.		X						X	X			X	X					
OAONL 3.4 Aplicación de Algoritmos Evolutivos Diferenciales.																		
OAONL 3.5 Mapeo de Resultados.		X	X															
OAONL 4.0 Gestión de Alarmas.																		
OAONL 4.1 Reporte de Incidentes.																		
OAONL 4.2 Validación de Resultados.																		
OAONL 4.3 Generación de Alarma.																		
OAONL 4.4 Generación de Plan de Incidentes.																		
OAONL 4.5 Actualización de Base de Datos.		X	X					X	X					X	X			

Tabla 5. Relación Sistemas Vs Estándares.

<p style="text-align: center;">DIRECTICES DE LOS ESTÁNDARES</p> <p style="text-align: center;">SISTEMAS</p>	E2983- 14 Guía Estándar para la Aplicación de Emisión Acústica para Monitoreo de Salud Estructural.	E650 - 97 Guía Estándar para Montaje de Sensores Piezoeléctricos de Emisión Acústica.	Instrumentación para la Excitación de la Estructura.	Instrumentación para Medición de Condiciones Ambientales y de Operación.	Montaje de Sensores Piezoeléctricos.	Selección de Acoplamiento o Adhesivo de los Sensores Piezoeléctricos.	Selección de Equipos de Montaje para Sensores Piezoeléctricos.	Selección de Sensores Piezoeléctricos.	Sistemas de Análisis de Datos.
	S0.0 Sistema de Monitoreo de Salud Estructural.	X	X	X	X	X	X	X	X
S1.0 Sistema de Excitación, Tratamiento de Señales y Procesamiento Estadístico.	X		X						X
S1.1 Picoscope.	X		X						X
S1.2 Amplificadores.	X		X						
S1.3 Filtro Pasa Altas.	X		X						
S1.4 Sensores Piezoeléctricos.	X	X	X		X	X	X	X	
S1.5 Sistema Embebido.	X								X
S1.6 Circuito de Multiplexación.	X		X						
S1.7 Sistema de Alimentación.	X		X						
S2.0 Sistema de Cómputo y Simulación.	X								X
S3.0 Sistema de Medición de Condiciones Ambientales y de Operación.	X			X					
S4.0 Sistema de Procesamiento Gráfico.	X								X
S4.1 Sistema de Cómputo y Procesamiento Grafico.	X								X
S4.2 Red Neuronal.	X								X
S5.0 Sistemas de Gestión de Alarmas.									
S5.1 Sistema de Comando Central.									
S5.2 Sistema de Notificación de Alertas.									
S6.0 Sistema de Comunicación Inalámbrica.									

Por último, se identifican las capacidades afectadas por las brechas encontradas, esta parte permita determinar que muchas de las capacidades futuras del sistema no están contempladas en los estándares, y otras están asociadas a algunas recomendaciones que se presentan en las directrices de los estándares. Las capacidades afectadas por las brechas son:

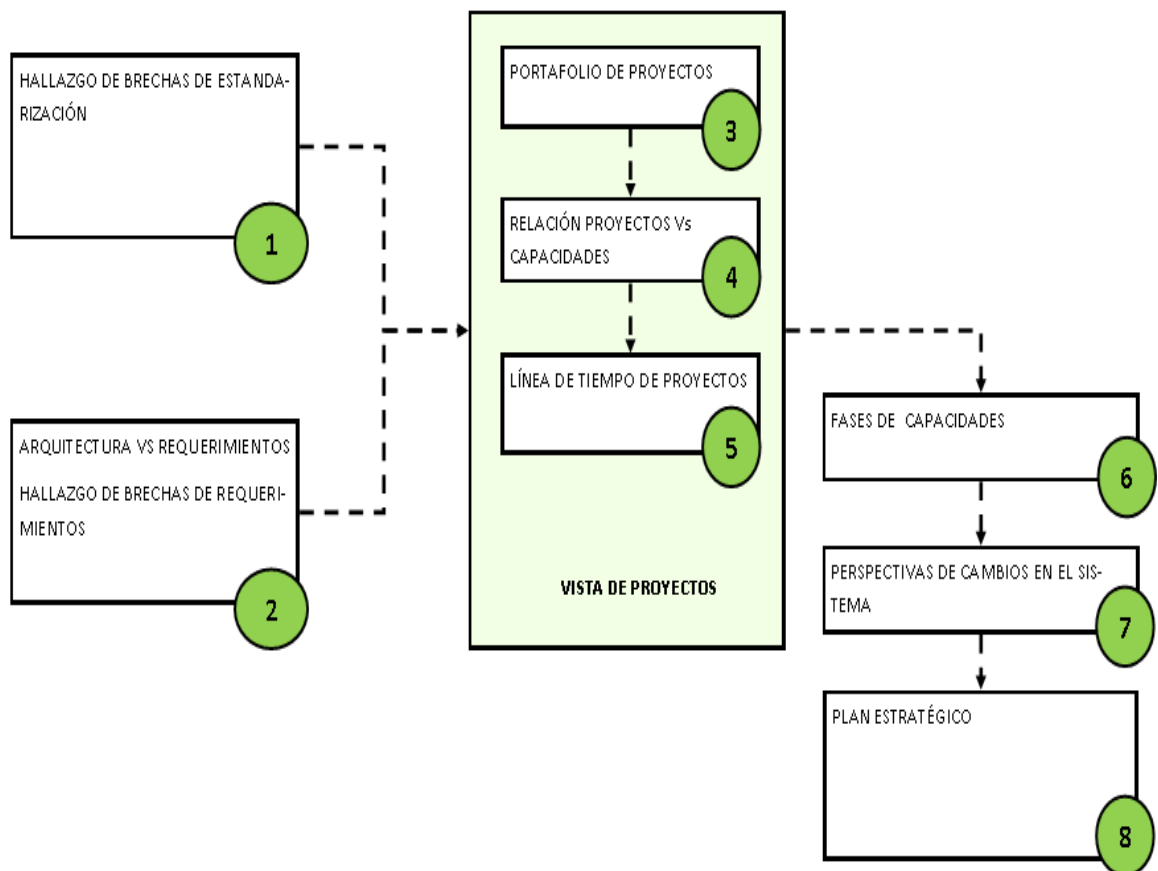
- Capacidad de Adquisición de señales.
- Capacidad de Excitación de la estructura.
- Capacidad de Almacenamiento de Señales.
- Capacidad de Memoria de Almacenamiento.
- Capacidad de Sensado de Señales por dos Canales.
- Capacidad de Sensado de la Señal de Excitación.
- Capacidad de Sensado de Vibraciones (Respuestas de Excitación).

5. INSUMOS DEL PLAN ESTRATEGICO, RESULTADOS, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN.

La creación del plan estratégico se realizó siguiendo la metodología propuesta en la figura 17. El plan estratégico consiste en la generación de un portafolio de proyectos que le permitan al sistema:

- Cumplir con los estándares consultados.
- Cumplir los requerimientos establecidos.
- Alcanzar las capacidades propuestas.

Figura 17. Metodología para el hallazgo de brechas - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnos.



Con base en la figura 17, los insumos del plan estratégico son los artefactos arquitecturales de la vista de proyectos de DoDAF 2.0, estos modelos, permite definir las fases donde se alcanzarían las capacidades propuesta y las perspectivas de cambio del sistema. El Procedimiento consiste en usar las brechas existentes en el cumplimiento de estándares y

requerimientos, para encontrar las brechas de requerimientos se observa cuáles de estos no presentan relaciones dentro de las matrices que relacionan los requerimientos con las capacidades, operaciones y sistemas.

Las brechas encontradas en esta etapa son las siguientes:

- El sistema no realiza monitoreo de forma remota.
- El sistema no posee los elementos necesarios para realizar la transmisión de datos inalámbricamente.
- No existe un sistema de gestión de alarmas y respuestas ante el hallazgo de una falla en la estructura.
- Hace falta estudiar los efectos de las condiciones ambientales y de operación en el procedimiento de monitoreo de salud estructural.
- Aún no se han realizado pruebas en aplicaciones reales y es necesario desplegar los resultados obtenidos en todos los escenarios de aplicación.

5.1. PROYECTOS.

Para la creación del portafolio de proyectos se utilizaron las brechas de estándares y requerimientos para crear programas y líneas de proyectos, para posteriormente definir los proyectos que buscarán cumplir con las necesidades presentadas en el sistema.

Los programas definidos fueron:

- Proyectos asociados a procesos: Proyectos asociados a solucionar las brechas de estandarización y de requerimientos, que están asociadas en los procesos que el sistema de monitoreo de salud estructural realiza.
- Proyectos asociados a sistemas: Proyectos asociados a cumplir con las recomendaciones definidas en los estándares y a la adquisición de nuevos sistemas que ayuden a cumplir los requerimientos de los interesados.
- Escalabilidad y despliegue en campos de aplicación: proyectos encargados de que todos los logros alcanzados en el laboratorio puedan llevarse a aplicaciones reales.

El portafolio fue creado con ayuda de las personas encargadas del desarrollo del sistema de monitoreo de salud estructural, como resultado, se definieron los proyectos necesarios para corregir las brechas encontradas y adicionalmente se estimaron los tiempos en los cuales se pueden obtener los resultados de los proyectos. Con base en los proyectos se puede revisar cuáles son las capacidades que se ven afectadas y que capacidades nuevas surgen al

desarrollar los proyectos. Las capacidades afectadas y las futuras que surgen a partir relaciones con los estándares consultados son:

- Capacidad de Monitoreo Remoto.
- Capacidad de Actualización de Base de Datos.
- Capacidad de Comunicación Inalámbrica.
- Capacidad de Gestión de Alarmas.
- Capacidad de Respuestas a Emergencias.
- Capacidad de cálculo y reducción de errores en la excitación y estimación de confiabilidad.
- Capacidad de Medición de condiciones ambientales.
- Capacidad de Medición de condiciones de operación.
- Capacidad de Re-inspección adecuada.
- Capacidad de aplicación a escenarios en tamaño real.
- Capacidad de Aplicación del sistema en tuberías aeronaves y estructuras civiles.
- Capacidad de Adquisición de señales.
- Capacidad de Excitación de la estructura.
- Capacidad de Almacenamiento de Señales.
- Capacidad de Memoria de Almacenamiento.
- Capacidad de Sensado de Señales por dos Canales.
- Capacidad de Sensado de la Señal de Excitación.
- Capacidad de Sensado de Vibraciones (Respuestas de Excitación).

La matriz de Capacidades Vs Proyectos es presentada en la tabla 7. Adicionalmente la figura 18 muestra un diagrama de Gantt donde es presentada la evolución de los proyectos a través del tiempo, en él se encontró que el desarrollo de los proyectos planteados tomará un tiempo estimado de 5 años.

5.2. FASE DE CAPACIDADES Y PERSPECTIVAS DA CAMBIOS DEL SISTEMA.

Con base en los resultados obtenidos en la matriz presentada en la tabla 7 al diagrama de fase de proyectos mostrado en la figura 18, se pueden determinar los hitos en los cuales el sistema podrá alcanzar las capacidades afectadas o las que serán creadas durante el desarrollo de los proyectos planteados. Para este modelo, fue planteado que las capacidades solo serán alcanzadas hasta que cada uno de los proyectos que están relacionados a dichas capacidades sea finalizado. La fase de las capacidades es presentada en la figura 19. Adicionalmente, la evolución del alcance de capacidades repercute directamente con la visión y los efectos deseados del sistema debido a la relación de estos con las capacidades de alto nivel del sistema, las cuales son creadas o afectadas debido al desarrollo y avance de los proyectos. Las relaciones de las capacidades con la visión y los efectos deseados del sistema son presentadas en el Anexo C.

Tabla 6. Portafolio De Proyectos – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.

PORTAFOLIO DE PROYECTOS – SISTEMA DE MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL.			
PROGRAMAS	LÍNEAS	PROYECTOS	TIEMPO ESTIMADO
PROYECTOS ASOCIADOS A PROCESOS.	Pérdidas en sensores piezoeléctricos.	Proyecto para estudio de pérdidas en piezoeléctricos.	4 meses
	Re – inspección.	Estimación de intervalos de re-inspección.	4 meses
	Condiciones ambientales y de operación y Propiedades de Materiales.	Estudio de fallo de sensores debido a condiciones ambientales y de operación.	3 años
		Estudio de propagación de señales en materiales y diferentes tipos de fluidos y formas de estructuras.	3 años
		Propuesta de procedimiento para el levantamiento de historiales de operación de las estructuras. (fallas frecuentes, riesgos, etc.).	4 meses
PROYECTOS ASOCIADOS A SISTEMAS.	Selección de sensores piezoeléctricos.	Estudio de características de piezoeléctricos (tamaño. Sensibilidad, vida útil, etc. Criterios para la selección y montaje de sensores).	4 meses
	Condiciones ambientales y de operación.	Sistema de instrumentación para condiciones ambientales y de operación (temperatura, humedad. Flujo, presión, etc.).	4 meses
	Configuración de sistemas y costos operacionales y Diseño de estructura.	Estudio para definición de arreglos y configuraciones de piezoeléctricos y tramos de sensado.	4 meses
		Evaluación de costo de computación y análisis de datos y costos de operación.	1 año
	Suministro de energía a sistemas.	Sistema de suministro de energía.	4 meses
	Comunicación.	Sistemas de comunicación inalámbrica.	4 meses
	Control de operaciones.	Sistema central de operaciones.	1 año
	Gestión de alarmas.	Sistema de gestión de alarmas.	4 meses
ESCALABILIDAD Y DESPLIEGUE EN CAMPOS DE APLICACIÓN.	Escalabilidad.	Escalabilidad del sistema a aplicaciones en tamaño real.	2 años
	Despliegue en campos de aplicación.	Despliegue a aplicación en aeronaves.	2 años
		Despliegue a aplicación en estructuras civiles.	2 años

Tabla 7. Capacidades Vs Proyectos – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.

<div style="text-align: center;">CAPACIDADES ASOCIADAS</div> <div style="text-align: center;">PROYECTOS</div>	C1.0 Capacidad de Adquisición de señales.	C1.1 Capacidad de Excitación de la estructura.	C1.2 Capacidad de Almacenamiento de Señales.	C1.2.1 Capacidad de Memoria de Almacenamiento.	C1.3 Capacidad de Sensado de Señales por dos Canales.	C1.3.1 Capacidad de Sensado de la Señal de Excitación.	C1.3.2 Capacidad de Sensado de Vibraciones (Respuestas de Excitación).	C4.0 Capacidad de Monitoreo Remoto.	C4.1 Capacidad de Actualización de Base de Datos.	C4.2 Capacidad de Comunicación Inalámbrica.	C4.3 Capacidad de Gestión de Alarmas.	C4.4 Capacidad de Respuestas a Emergencias.	C5.1 Capacidad de cálculo y reducción de errores en la excitación y estimación de confiabilidad.	C5.2 Capacidad de Medición de condiciones ambientales.	C5.3 Capacidad de Medición de condiciones de operación.	C5.4 Capacidad de Re-inspección adecuada.	C5.5 Capacidad de aplicación a escenarios en tamaño real.	C5.6 Capacidad de Aplicación del sistema en tuberías aeronaves y estructuras civiles.
Proyecto para estudio de pérdidas en piezoeléctricos.		X											X					
Estimación de intervalos de re-inspección.	X																X	
Estudio de fallo de sensores debido a condiciones ambientales y de operación.		X			X	X	X											
Estudio de propagación de señales en materiales y diferentes tipos de fluidos y formas de estructuras.									X									
Propuesta de procedimiento para el levantamiento de historiales de operación de las estructuras. (fallas frecuentes, riesgos, etc.).									X									
Estudio de características de piezoeléctricos (tamaño, Sensibilidad, vida útil, etc. Criterios para la selección y montaje de sensores).	X	X			X	X	X											
Sistema de instrumentación para condiciones ambientales y de operación (temperatura, humedad, Flujo, presión, etc.).									X					X	X			
Estudio para definición de arreglos y configuraciones de piezoeléctricos y tramos de sensado.	X	X			X	X	X											
Evaluación de costo de computación y análisis de datos y costos de operación.			X	X														
Sistema de suministro de energía.								X										
Sistemas de comunicación inalámbrica.								X		X								
Sistema central de operaciones.								X										
Sistema de gestión de alarmas.											X	X						
Escalabilidad del sistema a aplicaciones en tamaño real.																	X	
Despliegue a aplicación en aeronaves.																		X
Despliegue a aplicación en estructuras civiles.																		X

Nota: Las capacidades Sombreadas con el color corresponde a capacidades nuevas que surgen a través de la realización de los proyectos.

Figura 18. Línea de Tiempo- Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnos.

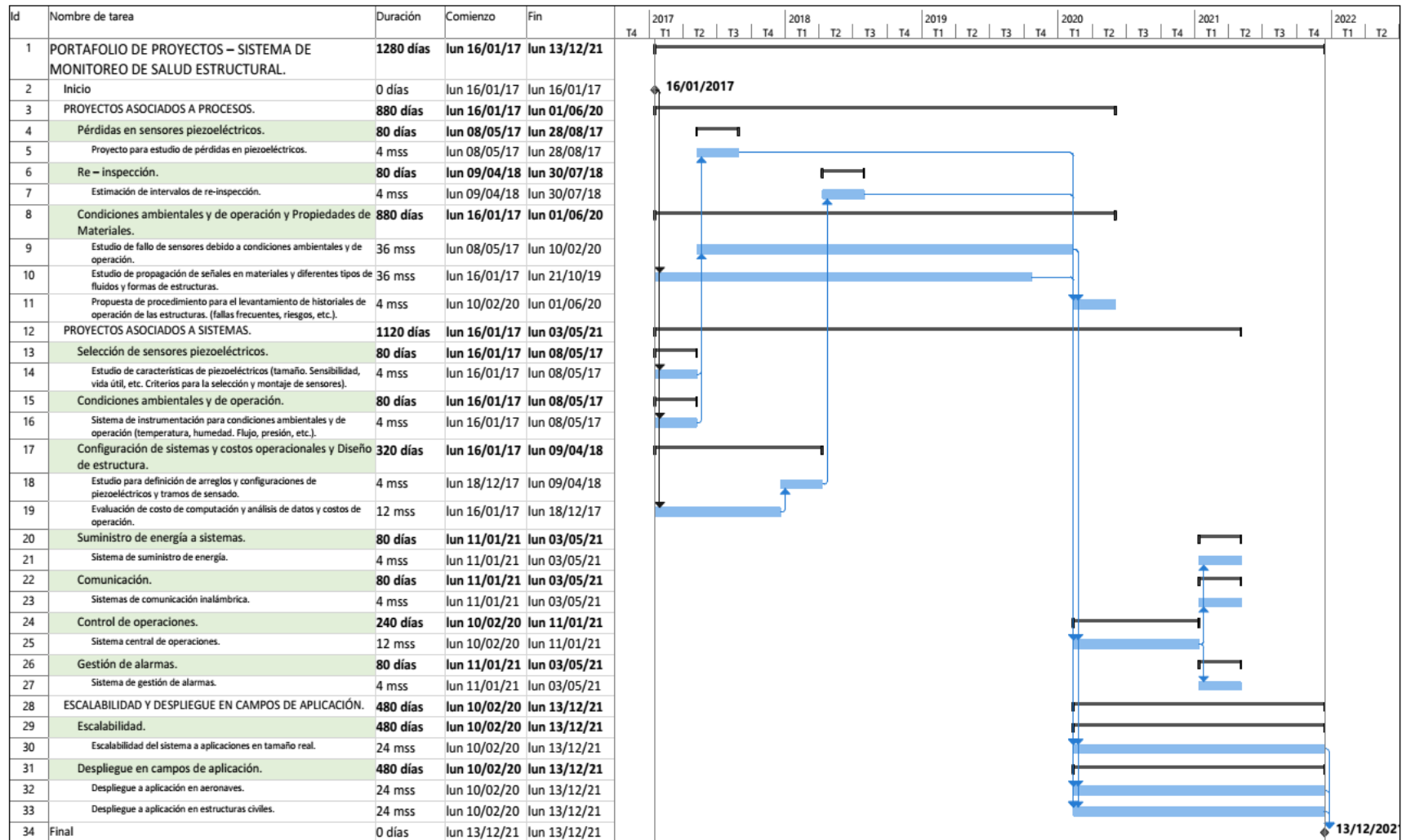
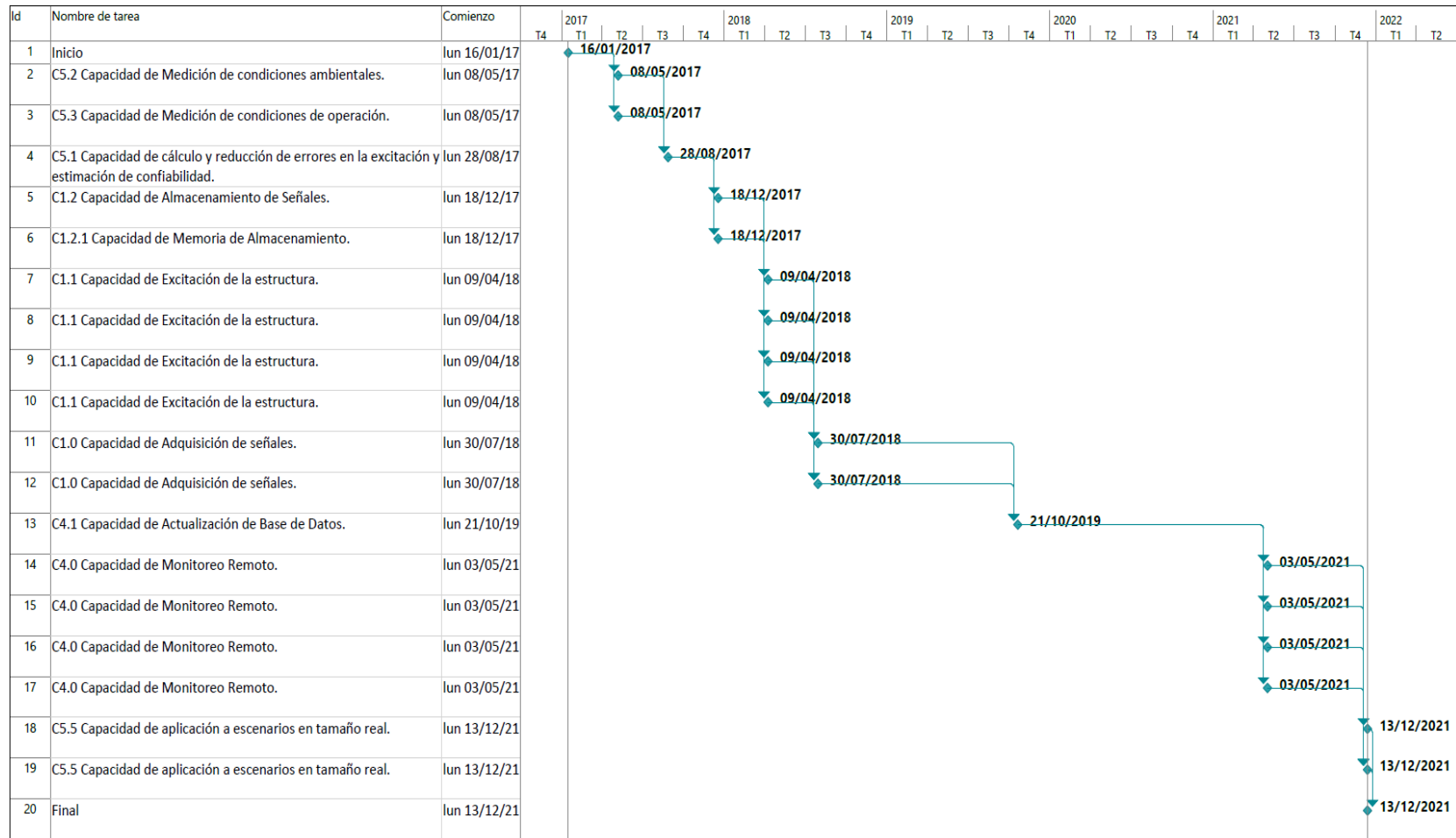


Figura 19. Fase de Capacidades - Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.



5.3. VERIFICACIÓN DE LA ARQUITECTURA.

Luego del desarrollo de la arquitectura y su posterior uso para el hallazgo de brechas de estandarización y cumplimiento de requerimientos que tuvo como resultado la obtención de los insumos del plan estratégico del sistema de monitoreo de salud estructural, fue necesario realizar un proceso de verificación de la arquitectura con el fin de determinar si los modelos construidos fueron suficientes para cumplir con el objetivo de la arquitectura, y además, verificar con los interesados si la información suministrada en cada modelo es correcta, adecuada y confiable.

Este proceso está conformado por dos partes:

La primera parte consiste en comparar el número de modelos planteados por el marco arquitectura DoDAF 2.0 con el número de modelos que fueron realizados, en la figura 20, es presentada un diagrama de radar donde se muestra la proporción que existe entre los modelos planteados y los modelos realizados por cada vista de DoDAF. Con base en la figura 20, se puede hacer las siguientes apreciaciones:

- Debido al enfoque y objetivo de la arquitectura fueron consultados dos estándares en los cuales sólo existen directrices asociadas a sistemas y procesos, de tal forma para la arquitectura planteada no se tuvieron en cuenta las vistas de datos y servicios.
- Adicionalmente, tampoco fueron construidos todos los modelos planteados en las vistas abordadas para el desarrollo de la arquitectura, los modelos realizados fueron seleccionados con el fin de cumplir con los procedimientos planteados en el desarrollo de la arquitectura para el hallazgo de brechas y la creación de los insumos del plan estratégico para el desarrollo y evolución del sistema.

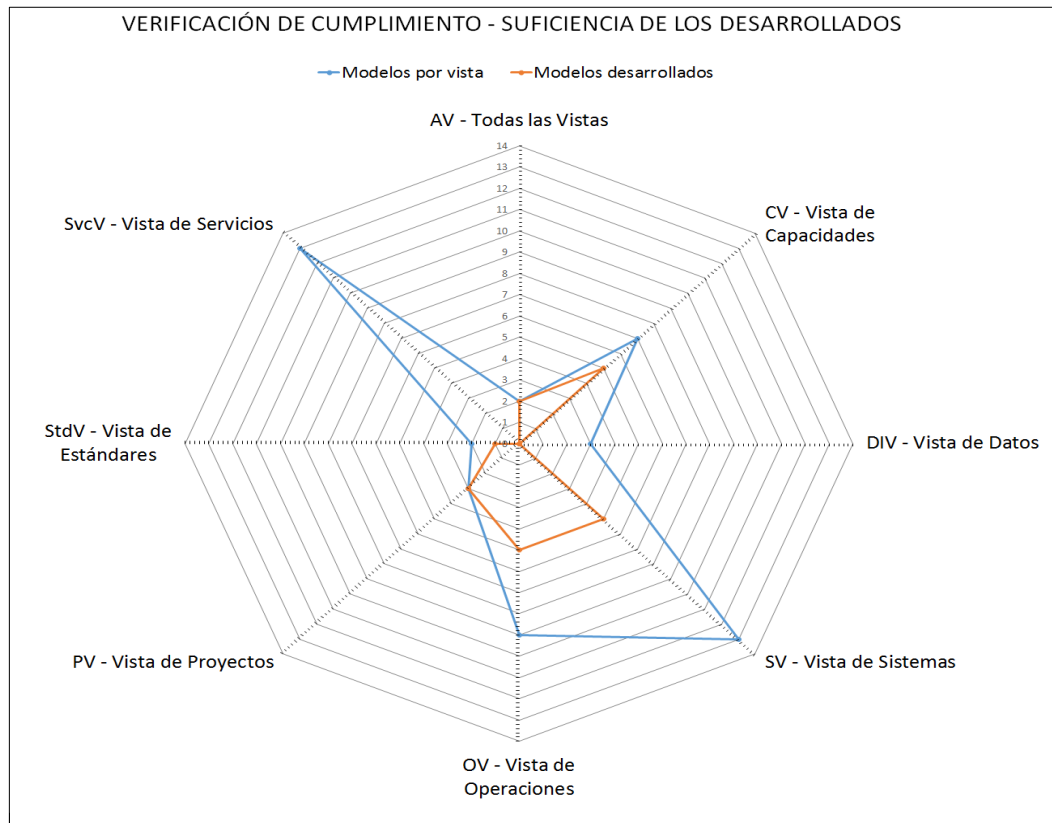
La segunda parte consiste en utilizar una rúbrica de conformidad para verificar con los interesados del proyecto si la información descrita en los modelos es apropiada y suficiente para lograr los objetivos planteados en el proyecto, la rúbrica realiza preguntas específicas para cada modelo, las preguntas contenidas en la rúbrica fueron enfocadas para verificar los siguientes aspectos de la arquitectura:

- Descripción del contexto, antecedentes y aplicaciones del sistema de monitoreo de salud estructural basado en piezodiagnos.
- Levantamiento de los requerimientos generales del sistema y estos se ajustan a las necesidades del sistema.
- Definición de capacidades de alto nivel y sus relaciones con los efectos deseados del sistema.

- Identificación de las actividades operacionales de los dos escenarios de operación del sistema, y las reglas, restricciones y condiciones entre las actividades operacionales del sistema.
- La definición del portafolio de proyectos identificando programas, líneas y proyectos, así como la evolución de estos a través del tiempo.
- Relaciones entre las vistas y modelos de la arquitectura.
- Revisión de los estándares revisados y sus relaciones con sistemas y operaciones para determinar brechas de estandarización.
- Descripción de los modelos y su importancia para el cumplimiento de los objetivos.

Los rubrica utilizada son presentados en el Anexo R y como resultado se obtiene la conformidad con todos los modelos realizados, por último, se adjunta la arquitectura completa del sistema de monitoreo de salud estructural en el Anexo S.

Figura 20. Diagrama de radar, proporción entre modelos por vista y modelos realizados.



6. CONCLUSIONES

A partir del desarrollo y finalización de este proyecto se presentan dos tipos de conclusiones, un primer grupo está enfocado a la temática del proyecto de grado y un segundo grupo está enfocado a la ejecución y cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Con base a lo anterior, se obtienen las siguientes conclusiones asociadas a la temática del proyecto:

La arquitectura del sistema de monitoreo de salud estructural fue construida con base en la metodología de 6 pasos planteada por el marco arquitectural DoDAF. El uso de esta metodología como estrategia para la realización de la descripción arquitectural, permitió establecer cuál era el alcance y objetivo de la arquitectura, y al mismo tiempo, proponer una metodología para el levantamiento de requerimientos y la definición el conjunto de vistas y orden en el que fueron realizados cada uno de los artefactos arquitecturales necesarios para abordar el hallazgo de brechas de estandarización y cumplimiento de requerimientos por parte del sistema de monitoreo de salud estructura basado en piezodiagnosis.

Gracias a la creación de la arquitectura se obtiene la caracterización del sistema de monitoreo de salud estructural teniendo en cuenta sus capacidades, operaciones y sistema, Los modelos realizados sirven como herramienta para reconocer el estado actual del sistema y así, poder determinar cómo sus componentes y reglas de funcionamiento deben ser alineadas para cumplimiento de estándares, solución de necesidades y alcance de la visión, metas y efectos deseados del sistema.

El hallazgo de brechas de estandarización y de cumplimiento de requerimientos, fue realizado a partir de un mapeo de las relaciones existentes entre los modelos de la arquitectura, los requerimientos del sistema y las directrices de estandarización definidas en los dos estándares consultados (E2983 – 14 – Guía Estándar para la Aplicación de Emisión Acústica para Monitoreo de Salud Estructural y el E650 – 97 – Guía Estándar para Montaje de Sensores Piezoeléctricos de Emisión Acústica). Las brechas encontradas sirven de insumo para elaborar un conjunto de modelos donde se describen proyectos enfocados a solucionar las brechas halladas y así, poder alcanzar las capacidades propuestas en la arquitectura.

El proceso de verificación permitió concluir que la metodología y los modelos utilizados son suficientes para cumplir el objetivo y el alcance de la arquitectura, en los cuales se pretendía definir las necesidades actuales del sistema para luego plantear proyectos que las solucionen. El proceso de verificación permite al mismo tiempo, definir si la información suministrada en los modelos es correcta, adecuada y confiable.

Por último, la arquitectura puede ser usada como herramienta para el diseño, desarrollo, documentación y evolución del sistema de monitoreo de salud estructural, debido a que, en ella, se conoce el estado actual del sistema para posteriormente generar iniciativas de cambios que busquen solucionar una necesidad debidamente expresada en la arquitectura.

Las conclusiones asociadas al cumplimiento de los objetivos del proyecto de grado, ver tabla:

Tabla 8. Conclusiones por Objetivos del proyecto

OBJETIVO GENERAL		CUMPLIMIENTO
<p><i>Realizar la arquitectura de un sistema electrónico de monitoreo de salud estructural basado en piezodiagnosis, usando DoDAF 2.0 con el fin de describir los requerimientos que le permitan al sistema la adopción de estándares y faciliten la toma de decisiones necesarias para que el sistema pueda detectar e identificar diferentes tipos de daños en estructuras.</i></p>		CUMPLIDO
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CUMPLIMIENTO	
<p><i>Realizar el levantamiento de los requerimientos del sistema de SHM estudiado, mediante la revisión bibliográfica de los resultados obtenidos e información suministrada por los interesados y estándares referentes al área de estudio, para obtener información que permita conocer el estado actual y el estado deseado del sistema estudiado.</i></p> <p>Conclusión: Este trabajo planteó una metodología para realizar el levantamiento de requerimientos, esta metodología fue incluida dentro del primer paso en el proceso de la elaboración de la arquitectura. Los requerimientos abarcan operaciones, sistemas y capacidades, así como los estándares consultados en la construcción de la arquitectura. La información de estos modelos de requerimientos sirve como base para la construcción de la arquitectura, y al mismo tiempo, estos modelos sirven como insumo para la construcción de los modelos de la vista de proyectos de la arquitectura.</p>	CUMPLIDO	

<p><i>Definir los artefactos arquitecturales que conformaran la descripción arquitectural del sistema estudiado, por medio la recolección y organización de la información obtenida con los requerimientos para proporcionar los diagramas que definan y representen el sistema de SHM.</i></p> <p>Conclusión: La metodología planteada en este trabajo demostró que de acuerdo a la aplicación, alcance y objetivos de la arquitectura no es necesaria la construcción de todas las vistas de la arquitectura y tampoco la construcción de todos sus artefactos arquitecturales, por tal motivo es necesario crear una metodología para la selección de las vistas y artefactos. En este proyecto, solo fue tenido en cuenta, los conjuntos de vistas de capacidades, operación, sistemas proyectos y estándares, las cuales fueron suficientes para el cumplimiento del objetivo de la arquitectura.</p>	<p>CUMPLIDO</p>	
<p><i>Construir los modelos arquitecturales que conforman los puntos de vista desde lo que se aborda la descripción de la arquitectura a través del uso de tablas y diagramas SySML para describir las entidades (actividades, capacidades, metas, sub sistemas, servicios) del sistema estudiado.</i></p> <p>Conclusión: Una vez definido las vistas y los artefactos arquitecturales, fue planteada una metodología donde se especifica el orden en el cual se realizaron los modelos, esta metodología tuvo en cuenta que algunos modelos funcionan como insumos para la construcción de otros modelos. En este trabajo fueron construidos 21 artefactos arquitecturales, adicionalmente algunos de estos modelos se realizaron para los dos escenarios de operación del sistema (Escenarios ONLINE y OFFLINE).</p>	<p>CUMPLIDO</p>	
<p><i>Verificar la arquitectura desarrollada mediante el uso de herramientas donde los interesados del proyecto validen si el uso de la arquitectura permite que el sistema se SHM adopte los estándares existentes.</i></p> <p>Conclusión: Fue construida una rúbrica de conformidad para verificar la utilidad, suficiencia y validez de la información presentada en los modelos, como resultado de este proyecto se obtuvo que los interesados del proyecto están conformes con los modelos de la arquitectura.</p>	<p>CUMPLIDO</p>	

OBJETIVOS ADICIONALES ALCANZADOS	CUMPLIMIENTO
<p><i>Proponer una metodología para el hallazgo de brechas de estandarización y de cumplimiento de requerimientos.</i></p> <p>Conclusión: La metodología propuesta, consistió en revisar las relaciones existentes entre los estándares y las capacidades, sistemas y operaciones, así como la relación de los requerimientos con las vistas de la arquitectura, de tal forma, se identificaron las brechas existentes y posteriormente se procede a buscar las soluciones de las brechas encontradas.</p>	<p>CUMPLIDO</p>
<p><i>Obtener un portafolio de proyectos que sirva como insumo para la elaboración de un plan estratégico del sistema.</i></p> <p>Conclusión: A partir de las brechas encontradas, se propuso un portafolio de proyectos, que buscan solucionar las necesidades presentadas en el sistema. Los proyectos propuestos están asociados a procesos, sistemas y la escalabilidad y despliegue del sistema en los escenarios de aplicación.</p>	<p>CUMPLIDO</p>

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Según las observaciones obtenidas durante el desarrollo de este proyecto de grado, se realizan las siguientes recomendaciones para futuros trabajos:

Es pertinente la consulta de nuevos estándares para realizar nuevamente la metodología planteada en este proyecto y encontrar nuevas brechas de estandarización y proponer proyectos que le permitan al sistema alcanzar nuevas capacidades.

Con el fin de ampliar el alcance de la arquitectura realizada, es necesario abordar las vistas de servicios y datos para poder retratar los requerimientos de información operativa entre todas las partes del sistema, y al mismo tiempo determinar cuáles funciones son llevadas a cabo por los seres humanos y cuales por Servicios para poder realizar análisis de riesgos, costos y fiabilidad del sistema de monitoreo de salud estructural.

Desarrollar el plan estratégico del sistema, realizando la planeación de los proyectos teniendo en cuenta costos, plazos de entrega, análisis de riesgos y asignando funciones y roles a las personas que se encargaran de desarrollarlos.

Construir una nueva arquitectura para realizar comparaciones con la arquitectura propuesta en este trabajo, con el objetivo de verificar si las capacidades propuestas en este proyecto de grado fueron alcanzadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Zachman, J. A.; "A framework for information systems architecture", in IBM Systems Journal; 1999; 38, 2/3; ABI/INFORM Global pg. 454, 1987.
- [2] Venkataramanan, G., "An integrated architectural framework for power conversion systems," in Integrated Power Packaging, 2000. IWIPP 2000. International Workshop on, vol., no., pp.12-16, 2000
- [3] Fregonese, G.; Zorer, A.; Cortese, G., "Architectural framework modeling in telecommunication domain," in Software Engineering, 1999. Proceedings of the 1999 International Conference on, vol., no., pp.526-534, 22-22 May 1999
- [4] Anderson, M.S.; Martin, S.M.; Dagli, C.; Miller, A., "Implementing an Architectural Framework to Define and Deliver Net-Centric Capability to Legacy Military Air Assets Operating within a System of Systems," in Systems Conference, 2008 2nd Annual IEEE, vol., no., pp.1-6, 7-10 April 2008
- [5] E. Silva et al., "A practical framework for the generation and selection of strategic plans of action: The relevance of timeframe considerations and a systems thinking approach," Systems Conference (SysCon), 2012 IEEE International, Vancouver, BC, 2012, pp. 1-6.
- [6] IEEE Std. 1471: "Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems". (2000)
- [7] Pasarrello, E., "¿Qué es una arquitectura empresarial?", in Infraestructura y Arquitectura Tecnología, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires, 2014.
- [8] Porras, G., "Arquitectura Empresarial", Club de Investigación Tecnológica, septiembre 2008.
- [9] Shahrah, A.Y.; Hossain, M.A.; Alghamdi, A.S., "A collaboration architecture for distributed smart surveillance systems based on DoDAF 2.0," in Computer Science and Software Engineering (JCSSE), 2012 International Joint Conference on, vol., no., pp.305-310, May 30 2012-June 1 2012
- [10] Shahrah, A.Y.; Hossain, M.A.; AIGHamdi, A.S., "Alert-response for distributed surveillance: DODAF-based services and systems," in Advanced Communication Technology (ICACT), 2014 16th International Conference on, vol., no., pp.949-954, 16-19 Feb. 2014

- [11] Biswas, A.; Hayden, J.; Phillips, M.S.; Bhasin, K.B.; Putt, C.; Sartwell, T., "Applying DoDAF to NASA Orion Mission Communication and Navigation Architecture," in Aerospace Conference, 2008 IEEE, vol., no., pp.1-9, 1-8 March 2008
- [12] Camacho, J.; Ruiz, M.; Pérez, O.; Villamizar, R.; Mujica L., "PIPE LEAKS CLASSIFICATION BY USING A DATA-DRIVEN APPROACH BASED ON FEATURES FROM CROSS-CORRELATED PIEZO-VIBRATION SIGNALS". 11th International Conference on Damage Assessment of Structures DAMAS 2015. Ghent University, Belgium. 24-26 August 2015. The accepted papers will be published in IOP Publishing's proceedings, Journal of Physics: Conference Series (JPCS).
- [13] Dezfouli, S.; Zabihollah, A. "Structural health monitoring of buried pipelines under static dislocation and vibration," in Mechatronics and Embedded Systems and Applications (MESA), 2010 IEEE/ASME International Conference on, vol., no., pp.325-329, 15-17 July 2010
- [14] F. Lucia "Definition of Structural Health Monitoring" de Structural Health Monitoring, Ed. John Wiley & Sons Ltd, 2014.
- [15] P. Thien, "Piezoelectric active sensing for damage detection in pipeline structure" In Proc. 23rd Int.Modal, 2005
- [16] Jaèn, J.; Romero, J.; Vallecillo, A., "Especificación de descripciones arquitectónicas multivista basada en modelos", Actas de los Talleres de las Jornadas de Ing. del Software y BBDD, Vol. 3, No. 2, 2009
- [17] Hilliard, R., "IEEE-Std-1471-2000 Recommended Practice for Architectural Description of Software- Intensive Systems", 2000
- [18] ISO/IEC Std. 42010: "Systems and software engineering – Architectural description". (2009)
- [19] Department Of Defense, "DoD Architecture Framework Version 2.0 - Architectural Data and Models Architect's Guide", 2009
- [20] Pereira, R., "SYSML, UMA EXTENSÃODA UML À ÁREA INDUSTRIAL", Instituto de informática da PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS, 2010.
- [21] Da Silva, A.J.; Linhares, M.V.; Padilha, R.; Roqueiro, N.; de Oliveira, R.S., "An Empirical Study of SysML in the Modeling of Embedded Systems," in Systems, Man and

Cybernetics, 2006. SMC '06. IEEE International Conference on, vol.6, no., pp.4569-4574, 8-11 oct. 2006

[22] Qamar, A.; Doring, C.; Wikander, J., "Designing mechatronic systems, a model-based perspective, an attempt to achieve SysML-Matlab/Simulink model integration," in Advanced Intelligent Mechatronics, 2009. AIM 2009. IEEE/ASME International Conference on, vol., no., pp.1306-1311, 14-17 July 2009

[23] Hammadi, M.; Choley, J.; Penas, O.; Riviere, A., "Multidisciplinary approach for modelling and optimization of Road Electric Vehicles in conceptual design level," in Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion (ESARS), 2012, vol., no., pp.1-6, 16-18 oct. 2012

[24] Weilkies, T., "Systems Engineering with SysML/UML – Modeling, Analysis, Design", Morgan Kaufmann Publishers, 320 p., 2006

[25] Camacho, J.; Ruiz, M.; Villamizar, R.; Mujica L.; Güemes A.; González, I., "STUDY OF CROSS-CORRELATION SIGNALS IN A DATA-DRIVEN APPROACH FOR DAMAGE CLASSIFICATION IN AIRCRAFT WINGS". 11th International Conference on Damage Assessment of Structures DAMAS 2015. Ghent University, Belgium. 24-26 August 2015. The accepted papers will be published in IOP Publishing's proceedings, Journal of Physics: Conference Series (JPCS).

[26] Camacho, J.; Ruiz, M.; Villamizar, R.; Mujica L.; Martínez, F., "DAMAGE DETECTION IN STRUCTURES USING ROBUST BASELINE MODELS". 7th ECCOMAS Thematic Conference on Smart Structures and Materials SMART 2015. A.L. Araújo, C.A. Mota Soares, et al. (Editors) © IDMEC 2015.

[27] Villamizar, R.; Pérez, O.; Camacho, J., "PIPE LEAK DETECTION BASED ON STATISTICS FROM PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS". Proceedings of the 6th edition of the World Conference of the International Association for Structural Control and Monitoring (IACSM), held in Barcelona, Spain. 15-17 July 2014. ISBN: 978-84-942844-6-5. pp 2051- 2060.

[28] Villamizar, R.; Quiroga, J.; Camacho, J.; Mujica, L.; Ruiz, M., "STRUCTURAL DAMAGE DETECTION ALGORITHM BASED ON PRINCIPAL COMPONENT INDEXES AND EMBEDDED ON A REAL TIME PLATFORM". Nondestructive Testing (NDT) ISSN 1435-4934. pp. 1553 – 1560. 7th European Workshop on Structural Health Monitoring July 8-11, 2014. La Cité, Nantes, France.

[29] Camacho, J.; Ruiz, M.; Perez, O.; Villamizar, R.; Mujica, L., "Comparative study of two hardware development boards for implementation of PCA-based algorithms in Structural

Damage Detection”. International Workshop on Structural Health Monitoring 2015 (September 1-3, 2015). Stanford University, CA – USA. doi: 10.12783/SHM2015/147. <http://dpi-proceedings.com/index.php/SHM2015/article/view/809>.

[30] Villamizar, R.; Camacho, J.; Mujica, L.; Ruiz, M., “TUNING OF EXPERT SYSTEMS FOR STRUCTURAL DAMAGE DETECTION THROUGH DIFERENTIAL EVOLUTIONARY ALGORITHMS”. Proceedings of the 6th edition of the World Conference of the International Association for Structural Control and Monitoring (IACSM), held in Barcelona, Spain. 15-17 July 2014. ISBN: 978-84-942844-6-5. pp 1412 – 1419

[31] Villamizar, R.; Pérez, O.; Camacho, J., “AUTOMATIC TUNING OF A PIPELINE FAULTS DETECTION ALGORITHM”. Nondestructive Testing (NDT) ISSN 1435-4934. pp 1085 – 1092. 7th European Workshop on Structural Health Monitoring July 8-11, 2014. La Cité, Nantes, France.

[32] Camacho, J.; Ruiz, M.; Mujica, L.; Pérez, O.; Villamizar, R., “PIPE LEAKS DETECTION UNDER VARYING ENVIRONMENTAL CONDITIONS BY USING A DATA DRIVEN APPROACH”. VI COPAEND (Conferencia Panamericana de Ensayos No Destructivos - PANNDT) - Cartagena, Colombia. 12 al 14 de agosto de 2015.

[33] ASTM INTERNATIONAL, “Designation: E2983- Standard Guide for Application of Acoustic Emission for Structural Health Monitoring”, 2014

[34] ASTM INTERNATIONAL, “Designation: E650 – 97_ Standard Guide for Mounting Piezoelectric Acoustic Emission Sensors”, 2002.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson, M.S.; Martin, S.M.; Dagli, C.; Miller, A., "Implementing an Architectural Framework to Define and Deliver Net-Centric Capability to Legacy Military Air Assets Operating within a System of Systems," in Systems Conference, 2008 2nd Annual IEEE, vol., no., pp.1-6, 7-10 April 2008.

ASTM INTERNATIONAL, "Designation: E2983- Standard Guide for Application of Acoustic Emission for Structural Health Monitoring", 2014.

ASTM INTERNATIONAL, "Designation: E650 – 97- Standard Guide for Mounting Piezoelectric Acoustic Emission Sensors", 2002.

Biswas, A.; Hayden, J.; Phillips, M.S.; Bhasin, K.B.; Putt, C.; Sartwell, T., "Applying DoDAF to NASA Orion Mission Communication and Navigation Architecture," in Aerospace Conference, 2008 IEEE, vol., no., pp.1-9, 1-8 March 2008.

Camacho, J.; Ruiz, M.; Mujica, L.; Pérez, O.; Villamizar, R., "PIPE LEAKS DETECTION UNDER VARYING ENVIRONMENTAL CONDITIONS BY USING A DATA DRIVEN APPROACH". VI COPAEND (Conferencia Panamericana de Ensayos No Destructivos - PANNDT) - Cartagena, Colombia. 12 al 14 de agosto de 2015.

Camacho, J.; Ruiz, M.; Perez, O.; Villamizar, R.; Mujica, L., "Comparative study of two hardware development boards for implementation of PCA-based algorithms in Structural Damage Detection". International Workshop on Structural Health Monitoring 2015 (September 1-3, 2015). Stanford University, CA – USA. doi: 10.12783/SHM2015/147. <http://dpi-proceedings.com/index.php/SHM2015/article/view/809>.

Camacho, J.; Ruiz, M.; Pérez, O.; Villamizar, R.; Mujica L., "PIPE LEAKS CLASSIFICATION BY USING A DATA-DRIVEN APPROACH BASED ON FEATURES FROM CROSS-CORRELATED PIEZO-VIBRATION SIGNALS". 11th International Conference on Damage Assessment of Structures DAMAS 2015. Ghent University, Belgium. 24-26 August 2015. The accepted papers will be published in IOP Publishing's proceedings, Journal of Physics: Conference Series (JPCS).

Camacho, J.; Ruiz, M.; Villamizar, R.; Mujica L.; Martínez, F., "DAMAGE DETECTION IN STRUCTURES USING ROBUST BASELINE MODELS". 7th ECCOMAS Thematic Conference on Smart Structures and Materials SMART 2015. A.L. Araújo, C.A. Mota Soares, et al. (Editors) © IDMEC 2015.

Camacho, J.; Ruiz, M.; Villamizar, R.; Mujica L.; Güemes A.; González, I., "STUDY OF CROSS-CORRELATION SIGNALS IN A DATA-DRIVEN APPROACH FOR DAMAGE CLASSIFICATION IN AIRCRAFT WINGS". 11th International Conference on Damage Assessment of Structures DAMAS 2015. Ghent University, Belgium. 24-26 August 2015. The accepted papers will be published in IOP Publishing's proceedings, Journal of Physics: Conference Series (JPCS).

Da Silva, A.J.; Linhares, M.V.; Padilha, R.; Roqueiro, N.; de Oliveira, R.S., "An Empirical Study of SysML in the Modeling of Embedded Systems," in Systems, Man and Cybernetics, 2006. SMC '06. IEEE International Conference on, vol.6, no., pp.4569-4574, 8-11 oct. 2006.

Department Of Defense, "DoD Architecture Framework Version 2.0 - Architectural Data and Models Architect's Guide", 2009.

Dezfouli, S.; Zabihollah, A. "Structural health monitoring of buried pipelines under static dislocation and vibration," in Mechatronics and Embedded Systems and Applications (MESA), 2010 IEEE/ASME International Conference on, vol., no., pp.325-329, 15-17 July 2010.

E. Silva et al., "A practical framework for the generation and selection of strategic plans of action: The relevance of timeframe considerations and a systems thinking approach," Systems Conference (SysCon), 2012 IEEE International, Vancouver, BC, 2012, pp. 1-6.

F. Lucia "Definition of Structural Health Monitoring" de Structural Health Monitoring, Ed. John Wiley & Sons Ltd, 2014.

Fregonese, G.; Zorer, A.; Cortese, G., "Architectural framework modeling in telecommunication domain," in Software Engineering, 1999. Proceedings of the 1999 International Conference on, vol., no., pp.526-534, 22-22 May 1999.

Hammadi, M.; Choley, J.; Penas, O.; Riviere, A., "Multidisciplinary approach for modelling and optimization of Road Electric Vehicles in conceptual design level," in Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion (ESARS), 2012, vol., no., pp.1-6, 16-18 oct. 2012.

Hilliard, R., "IEEE-Std-1471-2000 Recommended Practice for Architectural Description of Software- Intensive Systems", 2000.

IEEE Std. 1471: "Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems", 2000.

ISO/IEC Std. 42010: "Systems and software engineering – Architectural description". (2009)

Jaèn, J.; Romero, J.; Vallecillo, A., “Especificación de descripciones arquitectónicas multivista basada en modelos”, Actas de los Talleres de las Jornadas de Ing. del Software y BBDD, Vol. 3, No. 2, 2009.

P. Thien, "Piezoelectric active sensing for damage detection in pipeline structure" In Proc. 23rd Int.Modal, 2005.

Pasarrello, E., “¿Qué es una arquitectura empresarial?”, in Infraestructura y Arquitectura Tecnología, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires, 2014.

Pereira, R., “SYSML, UMA EXTENSÃODA UML À ÁREA INDUSTRIAL”, Instituto de informática da PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS, 2010.

Porras, G., “Arquitectura Empresarial”, Club de Investigación Tecnológica, septiembre 2008.

Qamar, A.; During, C.; Wikander, J., "Designing mechatronic systems, a model-based perspective, an attempt to achieve SysML-Matlab/Simulink model integration," in Advanced Intelligent Mechatronics, 2009. AIM 2009. IEEE/ASME International Conference on, vol., no., pp.1306-1311, 14-17 July 2009.

Shahrah, A.Y.; Hossain, M.A.; Alghamdi, A.S., "A collaboration architecture for distributed smart surveillance systems based on DoDAF 2.0," in Computer Science and Software Engineering (JCSSE), 2012 International Joint Conference on, vol., no., pp.305-310, May 30 2012-June 1 2012.

Shahrah, A.Y.; Hossain, M.A.; Alghamdi, A.S., "Alert-response for distributed surveillance: DODAF-based services and systems," in Advanced Communication Technology (ICACT), 2014 16th International Conference on, vol., no., pp.949-954, 16-19 Feb. 2014.

Venkataramanan, G., "An integrated architectural framework for power conversion systems," in Integrated Power Packaging, 2000. IWIPP 2000. International Workshop on, vol., no., pp.12-16, 2000.

Villamizar, R.; Camacho, J.; Mujica, L.; Ruiz, M., “TUNING OF EXPERT SYSTEMS FOR STRUCTURAL DAMAGE DETECTION THROUGH DIFERENTIAL EVOLUTIONARY ALGORITHMS”. Proceedings of the 6th edition of the World Conference of the International Association for Structural Control and Monitoring (IACSM), held in Barcelona, Spain. 15-17 July 2014. ISBN: 978-84-942844-6-5. pp 1412 – 1419.

Villamizar, R.; Pérez, O.; Camacho, J., “AUTOMATIC TUNING OF A PIPELINE FAULTS DETECTION ALGORITHM”. Nondestructive Testing (NDT) ISSN 1435-4934. pp 1085 –

1092. 7th European Workshop on Structural Health Monitoring July 8-11, 2014. La Cité, Nantes, France.

Villamizar, R.; Pérez, O.; Camacho, J., “PIPE LEAK DETECTION BASED ON STATISTICS FROM PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS”. Proceedings of the 6th edition of the World Conference of the International Association for Structural Control and Monitoring (IACSM), held in Barcelona, Spain. 15-17 July 2014. ISBN: 978-84-942844-6-5. pp 2051- 2060.

Villamizar, R.; Quiroga, J.; Camacho, J.; Mujica, L.; Ruiz, M., “STRUCTURAL DAMAGE DETECTION ALGORITHM BASED ON PRINCIPAL COMPONENT INDEXES AND EMBEDDED ON A REAL TIME PLATFORM”. Nondestructive Testing (NDT) ISSN 1435-4934. pp. 1553 – 1560. 7th European Workshop on Structural Health Monitoring July 8-11, 2014. La Cité, Nantes, France.

Weilkies, T., “Systems Engineering with SysML/UML – Modeling, Analysis, Design”, Morgan Kaufmann Publishers, 320 p., 2006.

Zachman, J. A.; “A framework for information systems architecture”, in IBM Systems Journal; 1999; 38, 2/3; ABI/INFORM Global pg. 454, 1987.

ANEXOS

ANEXO A. AV-1 Descripción e Información Resumida – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosís.

AV-1. SISTEMA DE MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL.

El primer producto sugerido por DoDAF 2.0 es el AV-1, el cual, es una descripción textual del problema. El AV-1 sirve para mostrar una visión general y un resumen de la información que define el problema, el alcance y propósito.

1. Identificación.

Nombre: ARQUITECTURA DE UN SISTEMA PARA EL MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL (SHM) BASADO EN PIEZODIAGNOSIS, USANDO DODAF 2.0.

Versión: V1.0.

2. Antecedentes.

En la actualidad se están desarrollando sistemas electrónicos para el monitoreo de salud estructural (SHM), este tipo de sistema tiene como finalidad la detección, clasificación y cuantificación de fallas en diferentes tipos de estructuras tales como estructuras mecánicas, aeronáuticas y civiles. El proceso de SHM implica el uso de sensores piezoeléctricos distribuidos sobre la estructura para realizar observaciones periódicas que permitan comparar su comportamiento en condiciones de funcionamiento con el comportamiento ideal cuando la estructura no presenta ningún tipo de fallas. Este tipo de sistemas son desarrollados actualmente en la Universidad Industrial de Santander donde se han obtenido avances favorables en la detección de fallas en estructuras como tuberías y aeronaves por medio del uso de sensores piezoeléctricos. Aunque la elaboración de este sistema ha contado con la revisión de modelos teóricos y ejemplos de aplicación, no se han contemplado estándares existentes para este tipo de aplicación ni se han realizado procedimientos para la caracterización total del sistema, lo que ha generado una no uniformidad en la selección de los elementos que conforman el sistema en cada montaje experimental que se ha realizado surgiendo así, la necesidad del uso de una metodología que permita: proveer un lenguaje común entre todos los actores que intervienen en el sistema, la caracterización del sistema y la adopción de estándares y recomendaciones en la construcción de cada uno de los bloques que constituyen dicho sistema.

3. Metas del Sistema.

- Reducción de costos.
- Extender la vida útil de la estructura.
- Mantener la seguridad durante la operación de los casos de aplicación.
- Recolectar datos en tiempo real.

- Reducir el número de inspecciones.
- Minimizar el impacto en las operaciones.
- Fácil mantenimiento.
- Simplificar las adquisiciones de sistemas.

4. Requerimientos Generales del Sistema.

- El sistema de reconocimiento de fallas debe adaptarse en la estructura física sin interferir en su funcionamiento.
- El sistema debe ser controlado para operar bajo las condiciones y características adecuadas comprobadas en la práctica.
- El sistema debe poseer elementos para almacenar y procesar información.
- El sistema debe tener la capacidad de realizar el monitoreo de forma remota, usando los elementos de comunicación necesarios.
- El sistema debe realizar el monitoreo periódicamente y emitir alarmas y planes de acción cuando sea necesario.
- El sistema podrá adaptarse a diversos campos de aplicación (Estructuras mecánicas - tuberías, aeronaves, estructuras civiles).
- El sistema debe cumplir con los lineamientos establecidos en los estándares:
 1. E650 – 97 – Guía Estándar para Montaje de Sensores Piezoeléctricos de Emisión Acústica. (Standard Guide for Mounting Piezoelectric Acoustic Emission Sensors).
 2. E2983 – 14 - Guía Estándar para la Aplicación de Emisión Acústica para Monitoreo de Salud Estructural. (Standard Guide for Application of Acoustic Emission for Structural Health Monitoring).

5. Preguntas Críticas.

- ¿Qué recursos son necesarios para la realización del sistema?
- ¿Cuáles son las funciones y operaciones de cada elemento y como se coordinan unas con otras?
- ¿Cuál es la confiabilidad del sistema y existen redundancias en él?
- ¿El sistema afectará el funcionamiento de la estructura donde será utilizado?
- ¿El sistema cumple con los estándares?

6. Alcance.

La arquitectura describirá los requerimientos del sistema donde se contemplen la adopción de estándares y faciliten la toma de decisiones para futuros cambios que se puedan presentar en dicho sistema. A partir del uso del marco arquitectural DoDAF 2.0 se obtendrán descripciones del sistema desde diversos puntos de vista tales como: Vista de sistemas, vista de operaciones, vista de capacidades, vistas generales, vista de proyectos y vista de estándares técnicos. Durante la elaboración de la arquitectura se tendrán en cuenta el estado actual del sistema, los escenarios de operación del sistema, lo que se quiere construir y como se debería construir. Con los resultados obtenidos se generarán recomendaciones para el mejoramiento del sistema estudiado.

ANEXO B. AV-2 Diccionario Integrado – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnos.

Tabla 9. Diccionario Integrado.

AV-2 DICCIONARIO INTEGRADO		
Proyecto:	Arquitectura de un sistema para el Monitoreo de Salud Estructural (SHM) basado en piezodiagnos, usando DoDAF 2.0	
Versión:	V1.0.	
Fecha:	11 de Julio 2016	
Estado:	Finalizado	
TÉRMINO	DEFINICIÓN	ACRÓNIMO
CONCEPTOS GENERALES		
Monitoreo de Salud Estructural Basado en Piezodiagnos		SHM
VISTAS Y ARTEFACTOS ARQUITECTURALES		
Todas las Vistas.		AV
Descripción e Información Resumida.	Muestra los antecedentes, visiones, metas, objetivos, planes, actividades, artefactos que hacen parte de la descripción arquitectural.	AV-1
Diccionario Integrado.	Presenta las definiciones de todos los términos utilizados en los artefactos arquitecturales.	AV-2
Vista de Capacidades.		CV
Visión.	Este modelo presenta la visión general del sistema abordando las preocupaciones y esfuerzos transformación	CV-1
Taxonomía de Capacidades.	El modelo es el encargado de proveer la jerarquía de las capacidades del sistema.	CV-2
Fases de Capacidades.	Muestra el alcance de capacidades en diferentes períodos de tiempo	CV-3
Dependencia de Capacidades.	Muestra las dependencias entre las capacidades	CV-4
Relación Capacidades - Actividades Operacionales.	Este modelo muestra las relaciones entre las capacidades y las actividades operacionales que apoyan esas capacidades.	CV-6
Vistas de Operaciones.		OV
Descripción Grafica de Alto Nivel de Operaciones.	Es una descripción gráfica de las de alto nivel de las operaciones que deben realizarse.	OV-1
Jerarquía de Actividades Operacionales	Muestra la organización jerárquica de las operaciones del sistema.	OV-5a
Modelo de Actividades Operacionales	Muestra las relaciones de dependencia entre las actividades operacionales.	OV-5b
Modelo de Reglas Operacionales.	Este modelo describe la actividad operativa del sistema identificándolas reglas y restricciones de las operaciones.	OV-6a
Descripción de Transición de Estados.	Presenta los estados operacionales y las condiciones de transición entre ellos	OV-6b
Vista de Proyectos.		PV
Relaciones del Portafolio de Proyectos.		PV-1
Línea de Tiempo de Proyectos.		PV-2
Relación de Proyectos con Capacidades.		PV-3
Vista de Estándares.		StdV
Perfil de Estándares.	Consiste en presentar un listado de los estándares relacionados al campo de aplicación estudiado.	StdV-1
Vista de Sistemas.		SV
Descripción de Sistemas e Interfaces.	Muestra la identificación de los subsistemas y elementos del sistema de monitoreo de salud estructural.	SV-1

Matriz de Relación Sistemas - Sistemas.	Muestra las relaciones existentes entre los sistemas que hacen parte de la arquitectura.	SV-3	
Descripción de Funciones de Sistemas.	Muestra las relaciones existentes entre los sistemas que hacen parte de la arquitectura.	SV-4	
Matriz de Relación Entre Actividades Operacionales y Funciones de Sistemas.	Es un mapeo de las relaciones existentes entre las funciones del sistema y sus actividades operacionales	SV-5a	
Matriz de Relación Entre Actividades Operacionales y Sistemas.	Es una representación tabular entre los sistemas de la arquitectura y las actividades operacionales.	SV-5b	
REPOSITORIO DE CAPACIDADES			
TÉRMINO	ACRÓNIMO	TÉRMINO	ACRÓNIMO
Capacidad de Monitoreo de Salud Estructural.	C0.0	Capacidad de Sensado de Vibraciones (Respuestas de Excitación).	C1.3.2
Capacidad de Adquisición de señales.	C1.0	Capacidad de Filtrado de Señales.	C1.3.3
Capacidad de Excitación de la estructura.	C1.1	Capacidad de Detección de Fallas.	C2.0
Capacidad de Generación de Señales.	C1.1.1	Capacidad de Función de Correlación.	C2.1
Capacidad de Generación de Señales Estándares.	C1.1.1.1	Capacidad de Procesamiento Estadístico.	C2.2
Capacidad de Generación Señales Arbitrarias.	C1.1.1.2	Capacidad de Normalización de Matrices.	C2.2.1
Capacidad de Generación de Señales entre ± 50 mV y ± 20 V.	C1.1.1.3	Capacidad de Modelado Estadístico.	C2.2.2
Capacidad de Generación de señales entre 0 - 1 MHz.	C1.1.1.4	Capacidad de Comparación de Estado de la Estructura.	C2.2.2.1
Capacidad de Amplificación de Señales.	C1.1.2	Capacidad de PCA.	C2.2.2.2
Capacidad de Amplificar Señales con una Ganancia Igual a 10.	C1.1.2.1	Capacidad de Clasificación de Fallas.	C3.0
Capacidad de Multiplexación de Señales.	C1.1.3	Capacidad de Entrenamiento SOM.	C3.1
Capacidad de Control de Multiplexación.	C1.1.3.1	Capacidad de Resultados Gráficos.	C3.2
Capacidad de Almacenamiento de Señales.	C1.2	Capacidad de Cálculo de Errores.	C3.3
Capacidad de Memoria de Almacenamiento.	C1.2.1	Capacidad de Monitoreo Remoto.	C4.0
Capacidad de Envío de Señales por Conexión USB.	C1.2.2	Capacidad de Actualización de Base de Datos.	C4.1
Capacidad de Sensado de Señales por dos Canales.	C1.3	Capacidad de Comunicación Inalámbrica.	C4.2
Capacidad de Sensado de la Señal de Excitación.	C1.3.1	Capacidad de Gestión de Alarmas.	C4.3
		Capacidad de Respuestas a Emergencias.	C4.4
REPOSITORIO DE ACTIVIDADES OPERACIONALES			
TÉRMINO	ACRÓNIMO	TÉRMINO	ACRÓNIMO
Reconocimiento Estado Inicial de la Estructura.	OAOFFL 0.0	Amplificación de Señal de Excitación.	OAONL 1.1.2
Modelado de Estructura sin Fallas.	OAOFFL 1.0	Multiplexación de Canales.	OAONL 1.1.3
Adquisición de Señales.	OAOFFL 1.1	Control de Multiplexación.	OAONL 1.1.4
Excitación de la Estructura.	OAOFFL 1.1.1	Validación de Multiplexación.	OAONL 1.1.5
Generación de Señal de Excitación.	OAOFFL 1.1.1.1	Sensado y Adecuación de Señales.	OAONL 1.2

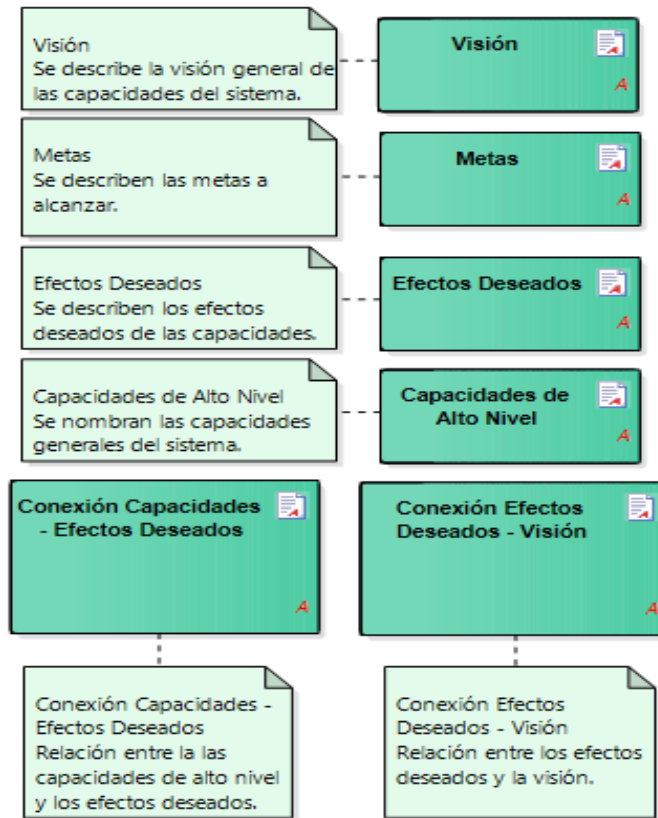
Amplificación de Señal de Excitación.	OAOFFL 1.1.1.2	Sensado de Señal de Excitación.	OAONL 1.2.1
Multiplexación de Canales.	OAOFFL 1.1.1.3	Sensado de Señales de Respuesta.	OAONL 1.2.2
Control de Multiplexación.	OAOFFL 1.1.1.3.1	Amplificación de Señales de Respuesta.	OAONL 1.2.3
Definición de Piezoeléctricos de Excitación y Sensado.	OAOFFL 1.1.1.3.2	Filtrado de Señales de Respuesta.	OAONL 1.2.4
Definición de Canales de Excitación y Sensado.	OAOFFL 1.1.1.3.3	Adquisición de Señales.	OAONL 1.2.5
Validación de Multiplexación.	OAOFFL 1.1.1.3.4	Transmisión de Señales.	OAONL 1.2.6
Sensado y Transmisión de señales.	OAOFFL 1.1.2	Procesamiento Estadístico y Detección de Fallas.	OAONL 2.0
Sensado de Señal de Excitación.	OAOFFL 1.1.2.1	Recepción de señales.	OAONL 2.1
Sensado de Señales de Respuesta.	OAOFFL 1.1.2.2	Almacenamiento de Señales.	OAONL 2.2
Amplificación de Señales de Respuestas.	OAOFFL 1.1.2.3	Creación de Matrices de Correlación.	OAONL 2.3
Filtrado de Señales de Respuesta.	OAOFFL 1.1.2.4	Procesamiento PCA.	OAONL 2.4
Adquisición de Señales de Respuesta.	OAOFFL 1.1.2.5	Normalización de Matrices.	OAONL 2.4.1
Transmisión de Señales de Respuestas.	OAOFFL 1.1.2.6	Creación de Matriz de Covarianzas.	OAONL 2.4.2
Adquisición de Señal de Excitación.	OAOFFL 1.1.2.7	Estimación de Vector PCA.	OAONL 2.4.3
Transmisión de Señal de Excitación.	OAOFFL 1.1.2.8	Creación de Modelo Estadístico.	OAONL 2.5
Procesamiento Estadístico.	OAOFFL 1.2	Cálculo de Scores y Valores Q, T ² .	OAONL 2.6
Recepción de Señales.	OAOFFL 1.2.1	Transmisión de Valores y Scores.	OAONL 2.7
Almacenamiento de Señales.	OAOFFL 1.2.2	Procesamiento Grafico y Clasificación de Fallas.	OAONL 3.0
Creación de Matrices de Correlación.	OAOFFL 1.2.3	Recepción de Índices y Scores.	OAONL 3.1
Procesamiento PCA.	OAOFFL 1.2.4	Entrenamiento de la SOM.	OAONL 3.2
Normalización de Matrices.	OAOFFL 1.2.4.1	Selección de Parámetros de la SOM.	OAONL 3.2.1
Calculo de Matriz de Covarianzas.	OAOFFL 1.2.4.2	Selección de Método de Entrenamiento.	OAONL 3.2.1.1
Determinar el Número De Componentes Principales.	OAOFFL 1.2.4.3	Selección de Número de Neuronas.	OAONL 3.2.1.2
Estimación del Vector Reducido de Componentes Principales.	OAOFFL 1.2.4.4	Selección de Grid Structure.	OAONL 3.2.1.3
Creación de Modelo.	OAOFFL 1.2.5	Selección de Map Shape.	OAONL 3.2.1.4
Cálculo de Valores Q, T ² , Scores.	OAOFFL 1.2.6	Selección de Neighborhood Function.	OAONL 3.2.1.5
Almacenamiento de Modelo en Sistema Embebido.	OAOFFL 1.3	Validación de Calidad de la SOM.	OAONL 3.3
Almacenamiento de Modelo e Índices en Base de Datos.	OAOFFL 1.3.1	Cálculo de Índices SOM.	OAONL 3.3.1
Suministro de Base de Datos en Sistema Embebido.	OAOFFL 1.3.2	Cálculo de error Topográfico.	OAONL 3.3.1.1
Compilación de Algoritmos en Sistema Embebido.	OAOFFL 1.3.3	Cálculo de Distorsión.	OAONL 3.3.1.2
Verificación de Funcionalidad.	OAOFFL 1.3.4	Cálculo de Histogram Uniformity.	OAONL 3.3.1.3

Modelado de la Estructura con Daños Conocidos.	OAOFFL 2.0	Aplicación de Algoritmos Evolutivos Diferenciales.	OAONL 3.4.
Definición y Clasificación de Daños.	OAOFFL 2.1	Mapeo de Resultados.	OAONL 3.5
Localización Y Distribución de Fallas.	OAOFFL 2.2	Gestión de Alarmas.	OAONL 4.0
Fabricación de Fallas en Laboratorio.	OAOFFL 2.3	Reporte de Incidentes.	OAONL 4.1
Monitoreo, Detección y Clasificación de Fallas.	OAONL 0.0	Validación de Resultados.	OAONL 4.2
Adquisición, Tratamiento y Transmisión de Señales.	OAONL 1.0	Generación de Alarma.	OAONL 4.3
Excitación de la Estructura.	OAONL 1.1	Generación de Plan de Incidentes.	OAONL 4.4
Generación de Señal de Excitación.	OAONL 1.1.1	Actualización de Base de Datos.	OAONL 4.5
REPOSITORIO DE ESTADOS OPERACIONALES			
TÉRMINO	ACRÓNIMO	TÉRMINO	ACRÓNIMO
Almacenando Modelos en Base de Datos.	OSOFFL 1	Amplificando Señal de Excitación	OSONL 3
Almacenando Señales.	OSOFFL 2	Calculando Índices Q, T ²	OSONL 4
Amplificando Señal de Excitación.	OSOFFL 3	Creando Matriz de Correlación	OSONL 5
Calculando Índices Q, T ² .	OSOFFL 4	Entrenando SOM	OSONL 6
Creando Matriz de Correlación.	OSOFFL 5	Estimando Modelo Estadístico	OSONL 7
Estableciendo Daños en Estructura.	OSOFFL 6	Excitando Estructura	OSONL 8
Estimando Modelo Estadístico.	OSOFFL 7	Filtrando y Amplificando Señales de Respuesta	OSONL 9
Excitando Estructura.	OSOFFL 8	Generando Señal de Amplificación	OSONL 10
Filtrando y Amplificando Señales de Respuesta.	OSOFFL 9	Gestionando Alertas	OSONL 11
Generando Señal de Excitación.	OSOFFL 10	Mapeando Resultados	OSONL 12
Obteniendo Señales.	OSOFFL 11	Obteniendo Señales	OSONL 13
Realizando Procesamiento PCA.	OSOFFL 12	Realizando Procesamiento PCA	OSONL 14
Recibiendo Señales.	OSOFFL 13	Recibiendo Índices y Scores	OSONL 15
Sensando Señal de Excitación.	OSOFFL 14	Recibiendo Señales	OSONL 16
Sensando Señales de Respuesta.	OSOFFL 15	Sensando Señal de Excitación	OSONL 17
Suministrando Base de Datos y Algoritmos a Sistema Embebido.	OSOFFL 16	Sensando Señales de Respuesta	OSONL 18
Transmitiendo Señales.	OSOFFL 17	Transmitiendo Índices y Scores	OSONL 19
Validando Multiplexación.	OSOFFL 18	Transmitiendo Señales	OSONL 20
Verificando Funcionalidad.	OSOFFL 19	Validando Multiplexación	OSONL 21
Controlando Ordenes de Multiplexación.	OSOFFL 20	Validando Resultados	OSONL 22
Multiplexando Canales.	OSOFFL 21	Validando SOM	OSONL 23
Actualizando Base de Datos	OSONL 1	Controlando Ordenes de Multiplexación	OSONL 24
Almacenando Señales	OSONL 2	Multiplexando Canales	OSONL 25
REPOSITORIO DE FUNCIONES DE SISTEMAS			
TÉRMINO	ACRÓNIMO	TÉRMINO	ACRÓNIMO
Muestrear Señales.	SF1.1.3	Monitoreo de Condiciones de Operación.	SF3.2

Transmitir Señales.	SF1.1.4	Entrenar Red Neuronal.	SF4.1.1
Amplificar Señales.	SF1.2.1	Evaluar Red Neuronal.	SF4.1.2
Filtrar Señales.	SF1.3.1	Ejecutar Red Neuronal.	SF4.1.3
Transmitir Señales (Actuador - Excitar Estructura).	SF1.4.	Clasificación de Información.	SF4.2.1
Sensar Señales.	SF1.4.2	Comparación de Información.	SF4.2.2
Recepcionar Señales.	SF1.5.1	Emitir Resultados Gráficos.	SF4.2.3
Almacenar Señales.	SF1.5.2	Calcular Errores.	SF4.2.4
Realizar Procesamiento Estadístico.	SF1.5.3	Coordinar Operaciones.	SF5.1.1
Cálculo de Índices y Variables.	SF1.5.4	Supervisar Operaciones.	SF5.1.2
Ejecutar Algoritmos.	SF1.5.5	Actualizar Base de Datos.	SF5.1.3
Multiplexar Canales.	SF1.6.1	Emitir Resultados de Monitoreo.	SF5.1.4
Controlar Multiplexación.	SF1.6.2	Entregar Plan de Acción.	SF5.1.5
Proveer Energía Eléctrica a los Sistemas.	SF1.7.1	Notificar Incidentes.	SF5.2.1
Ejecutar Algoritmos.	SF2.1	Generar Alarmas.	SF5.2.2
Realizar Simulaciones.	SF2.2	Enviar plan de Acción.	SF5.2.3
Validar Algoritmos.	SF2.3	Transmisión de Señales e Información.	SF6.1
Estimar Modelos Experimentales.	SF2.4	Recepción de Señales e Información.	SF6.2
Crear Base de Datos.	SF2.5	Generar Señales.	SF1.1.1
Almacenar Algoritmos.	SF2.6	Adquirir de Señales.	SF1.1.2
Monitoreo de Condiciones Ambientales.	SF3.1		
REPOSITORIO DE SISTEMAS			
TÉRMINO	ACRÓNIMO	TÉRMINO	ACRÓNIMO
Sistema de Monitoreo de Salud Estructural.	S0.0	Sistema de Cómputo y Simulación.	S2.0
Sistema de Excitación, Tratamiento de Señales y Procesamiento Estadístico.	S1.0	Sistema de Medición de Condiciones Ambientales y de Operación.	S3.0
Picoscope.	S1.1	Sistema de Procesamiento Gráfico.	S4.0
Amplificadores.	S1.2	Sistema de Cómputo y Procesamiento Grafico.	S4.1
Filtro Pasa Altas.	S1.3.	Red Neuronal.	S4.2
Sensores Piezoeléctricos.	S1.4	Sistemas de Gestión de Alarmas.	S5.0
Sistema Embebido.	S1.5	Sistema de Comando Central.	S5.1
Circuito de Multiplexación.	S1.6	Sistema de Notificación de Alertas.	S5.2
Sistema de Alimentación.	S1.7	Sistema de Comunicación Inalámbrica.	S6.0

ANEXO C. CV-1 Visión – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.

Figura 21. CV-1 visión



Visión:

La visión del sistema de monitoreo de salud estructural es transformar la forma de cómo se identifican y clasifican daños en estructuras mecánicas, civiles y aeronaves, así como, la generación de alarmas teniendo como base de funcionamiento el uso de técnicas de piezodiagnosis y procesamiento estadístico. El sistema se caracterizará por la detección y clasificación de fallas haciendo uso de sistemas embebidos, elementos piezoeléctricos y diversos conjuntos de algoritmos. La arquitectura del sistema describirá una integración de las tecnologías, sistemas, procesos y servicios usados hasta el momento y los que se necesitan para poder generar alarmas oportunas, enviar la información sensada inalámbricamente a los centros de control, ampliar el alcance de sensado, actualizar la base de datos de posibles daños y acciones que deben realizarse cuando se presenten y al mismo tiempo verificar el cumplimiento de estándares existentes para la instalación y uso de los elementos del sistema, generando confiabilidad del uso de tecnologías para prevenir posibles accidentes.

Metas:

- Adquisición de datos en tiempo real.
- Adquisición remota de datos.
- Actualización de base de datos de daños.
- Generación de alarmas ante presencia de daños.
- Identificar y clasificar daños.
- Prolongar la vida útil de las estructuras.
- Apoyar y reducir la frecuencia y carga durante la inspección de estructuras.
- Reducir costos.
- Facilitar procesos de manutención.
- Mantener la seguridad durante la operación de la estructura.
- Proyectar el sistema en tuberías, estructuras civiles y aeronaves.
- Proponer respuestas y soluciones ante la presencia de daños.
- Discriminar las causas de la alarma (error del sistema, error de operación, daño en la estructura, etc.)

Efectos deseados:

- Que se detecten fallas en las estructuras antes de que ocurra un accidente.
- Que se generen alarmas oportunamente.
- Que las mediciones obtenidas sean confiables.
- Que la vida útil de la estructura donde es instalado el sistema se prolongue.
- Que las jornadas de revisión de fallas sean menores.
- Que el sistema sea una herramienta de apoyo a los procesos de mantenimiento de la estructura.
- Que las alarmas sean generadas desde el centro de control sin necesidad de ir hasta la estructura.
- Que las condiciones ambientales interfieran de la menor forma posible en la toma de mediciones.

Capacidades de alto nivel:

- Capacidad de detección de fallas.
- Capacidad de clasificación de fallas.
- Capacidad de toma de mediciones.
- Capacidad de procesamiento estadístico.
- Capacidad de comunicación inalámbrica.
- Capacidad de generación de alarmas.
- Capacidad de monitoreo remoto y en tiempo real.
- Capacidad de apoyo para la prevención de accidentes.

Tabla 10. Conexión capacidades de alto nivel – efectos deseados.

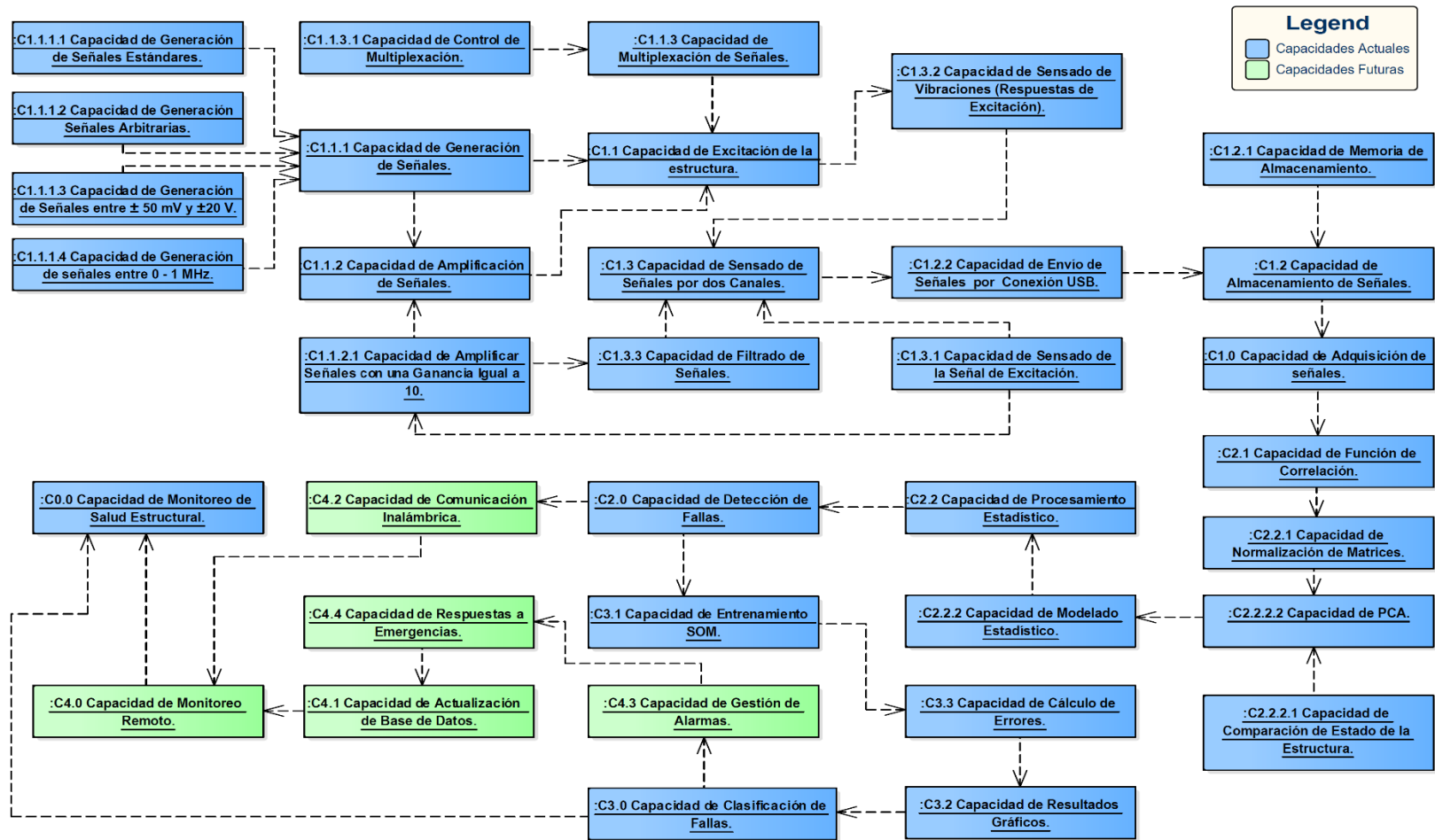
CAPACIDADES DE ALTO NIVEL EFECTOS DESEADOS	Capacidad de detección de fallas.	Capacidad de clasificación de fallas.	Capacidad de toma de mediciones.	Capacidad de procesamiento estadístico.	Capacidad de comunicación inalámbrica.	Capacidad de generación de alarmas.	Capacidad de monitoreo remoto y en tiempo real.	Capacidad de apoyo para la prevención de accidentes.
Que se detecten y clasifiquen fallas en las estructuras antes de que ocurra un accidente.	X	X		X				
Que se generen alarmas oportunamente.					X	X		
Que las mediciones obtenidas sean confiables.			X	X			X	
Que la vida útil de la estructura donde es instalado el sistema se prolongue.	X	X	X			X		X
Que las jornadas de revisión de revisión de las estructuras sean menores.			X			X		
Que el sistema sea una herramienta de apoyo a los procesos de mantenimiento de la estructura.	X	X	X	X	X	X	X	X
Que las alarmas sean generadas desde el centro de control sin necesidad de ir hasta la estructura.					X	X		
Que las condiciones ambientales interfieran de la menor forma posible en la toma de mediciones.			X		X		X	

Tabla 11. Conexión efectos deseados – visión.

EFECTOS DESEADOS VISIÓN	Transformar la forma de cómo se identifican y clasifican daños en estructuras.	Uso de técnicas de piezodiagnos y procesamiento estadístico.	Uso de sistemas embebidos, elementos piezoeléctricos y diversos conjuntos de algoritmos.	Integración de las tecnologías, sistemas, procesos y servicios usados para poder generar alarmas oportunas.	Enviar la información sensada inalámbricamente a los centros de control.	Ampliar el alcance de sensado.	Actualizar la base de datos de posibles daños y acciones que deben realizarse cuando se presenten.	Verificar el cumplimiento de estándares existentes para la instalación y uso de los elementos del sistema.
Que se detecten y clasifiquen fallas en las estructuras antes de que ocurra un accidente.	X	X	X	X		X	X	
Que se generen alarmas oportunamente.			X	X	X			
Que las mediciones obtenidas sean confiables.		X	X	X	X	X		X
Que la vida útil de la estructura donde es instalado el sistema se prolongue.	X						X	
Que las jornadas de revisión de revisión de las estructuras sean menores.	X				X			
Que el sistema sea una herramienta de apoyo a los procesos de mantenimiento de la estructura.	X	X	X	X	X	X	X	X
Que las alarmas sean generadas desde el centro de control sin necesidad de ir hasta la estructura.	X		X	X	X			
Que las condiciones ambientales interfieran de la menor forma posible en la toma de mediciones.					X			X

ANEXO D. CV-4

Figura 22. Dependencia de Capacidades – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM)



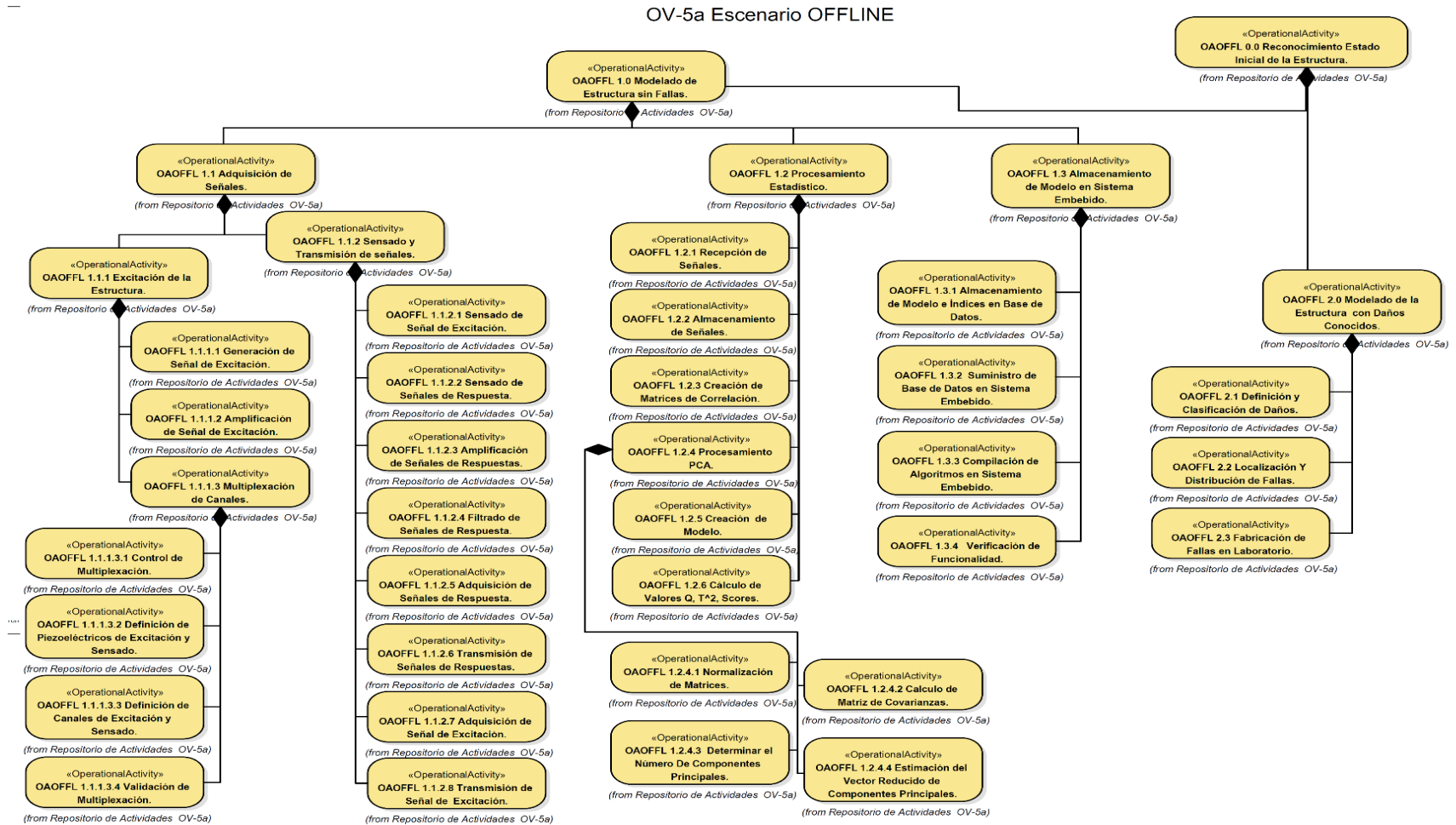
ANEXO E. CV-6 Relación Capacidades - Actividades Operacionales – Arquitectura del sistema para el monitoreo de salud estructural (SHM) basado en piezodiagnosis.

Tabla 12. CV-6 Relación Capacidades - Actividades Operacionales

	C0.0 Capacidad de Monitoreo de Salud Estructural.	C1.0 Capacidad de Adquisición de señales.	C1.1 Capacidad de Excitación de la estructura.	C1.1.1 Capacidad de Generación de Señales.	C1.1.1.1 Capacidad de Generación de Señales Estándares.	C1.1.1.2 Capacidad de Generación Señales Arbitrarias.	C1.1.1.3 Capacidad de Generación de Señales entre ± 50 dB.	C1.1.1.4 Capacidad de Generación de señales entre 0 - 1 dB.	C1.2 Capacidad de Amplificación de Señales.	C1.2.1 Capacidad de Amplificar Señales con una Ganancia Igual a 10.	C1.3 Capacidad de Multiplexación de Señales.	C1.3.1 Capacidad de Control de Multiplexación.	C1.2 Capacidad de Almacenamiento de Señales.	C1.2.1 Capacidad de Memoria de Almacenamiento.	C1.2.2 Capacidad de Envío de Señales por Conexión USB.	C1.3 Capacidad de Sensado de Señales por dos Canales.	C1.3.1 Capacidad de Sensado de la Señal de Excitación.	C1.3.2 Capacidad de Sensado de Vibraciones (Respuestas a Excitación).	C1.3.3 Capacidad de Filtrado de Señales.	C2.0 Capacidad de Detección de Fallas.	C2.1 Capacidad de Función de Correlación.	C2.2 Capacidad de Procesamiento Estadístico.	C2.2.1 Capacidad de Normalización de Matrices.	C2.2.2 Capacidad de Modelado Estadístico.	C2.2.2.1 Capacidad de Comparación de Estado de la Estructura.	C2.2.2.2 Capacidad de PCA.	C3.0 Capacidad de Clasificación de Fallas.	C3.1 Capacidad de Entrenamiento SOM.	C3.2 Capacidad de Resultados Gráficos.	C3.3 Capacidad de Cálculo de Errores.	C4.0 Capacidad de Monitoreo Remoto.	C4.1 Capacidad de Actualización de Base de Datos.	C4.2 Capacidad de Comunicación Inalámbrica.	C4.3 Capacidad de Gestión de Alarmas.	C4.4 Capacidad de Respuestas a Emergencias.	
OAOFFL 0.0 Reconocimiento Estado Inicial de la Estructura.	X																			X					X						X	X				
OAOFFL 1.0 Modelado de Estructura sin Fallas.	X																			X					X						X	X				
OAOFFL 1.1 Adquisición de Señales.	X	X											X	X						X																
OAOFFL 1.1.1 Excitación de la Estructura.	X	X	X																	X																
OAOFFL 1.1.1.1 Generación de Señal de Excitación.	X	X	X	X	X	X	X	X												X																
OAOFFL 1.1.1.2 Amplificación de Señal de Excitación.	X	X	X						X	X										X																
OAOFFL 1.1.1.3 Multiplexación de Canales.	X	X	X								X					X	X	X		X																
OAOFFL 1.1.1.3.1 Control de Multiplexación.	X	X	X							X	X				X	X	X		X																	

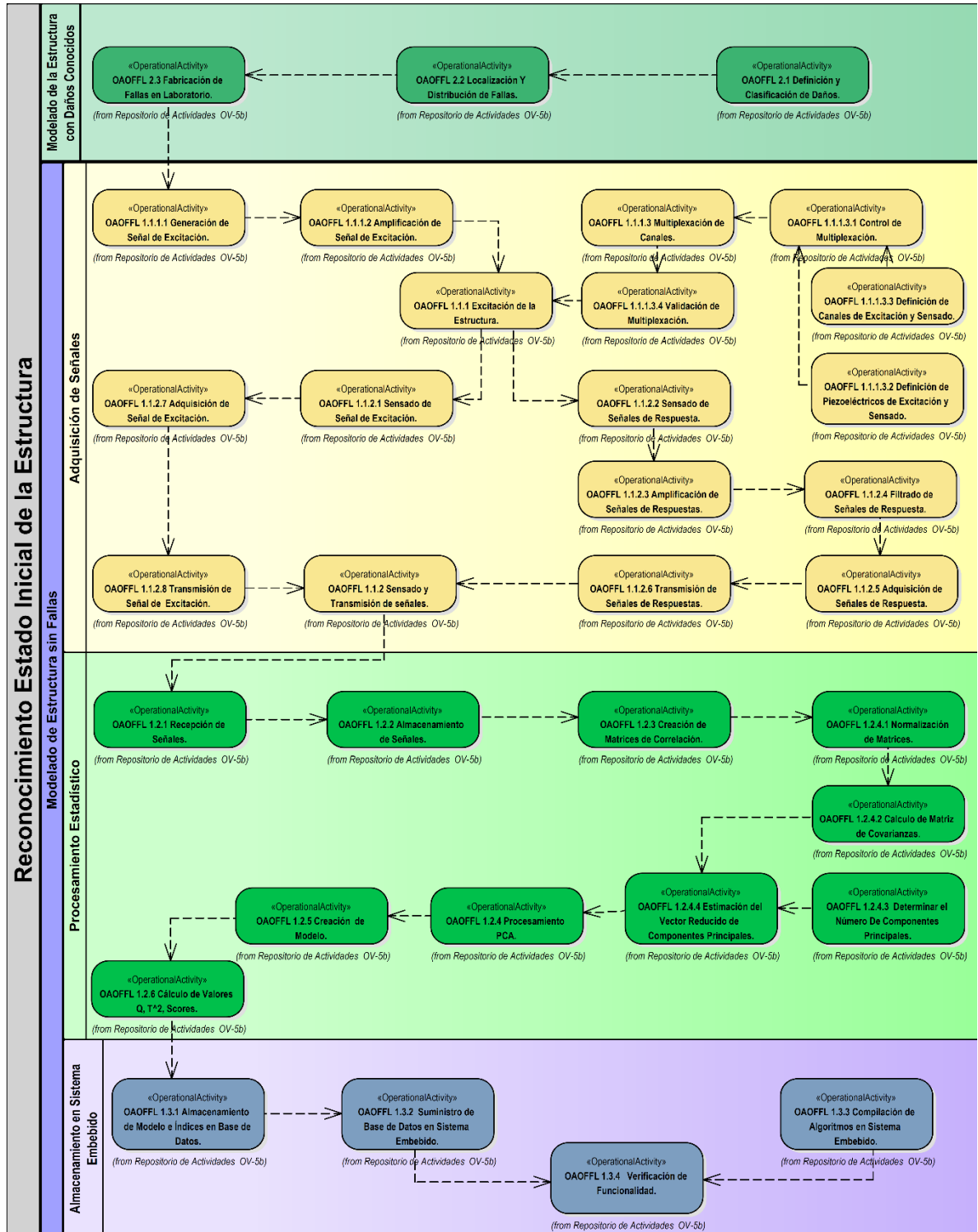
ANEXO F. OV-5a Jerarquía de Actividades Operacionales - escenario OFFLINE.

Figura 23. OV-5a Jerarquía de Actividades Operacionales - escenario OFFLINE.



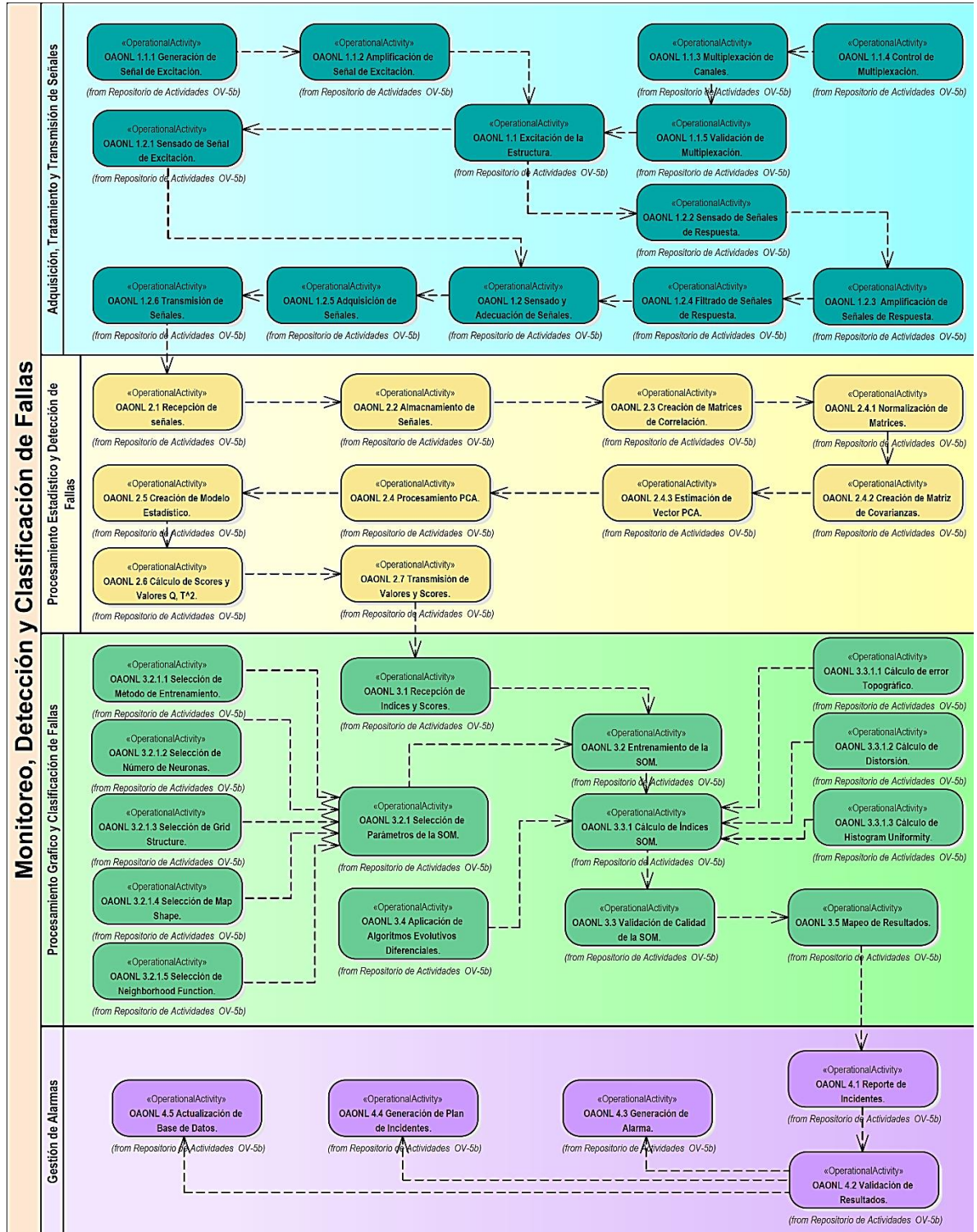
ANEXO G. OV-5b Modelo de Actividades Operacionales - escenario OFFLINE.

Figura 24. OV-5b Modelo de Actividades Operacionales - escenario OFFLINE.



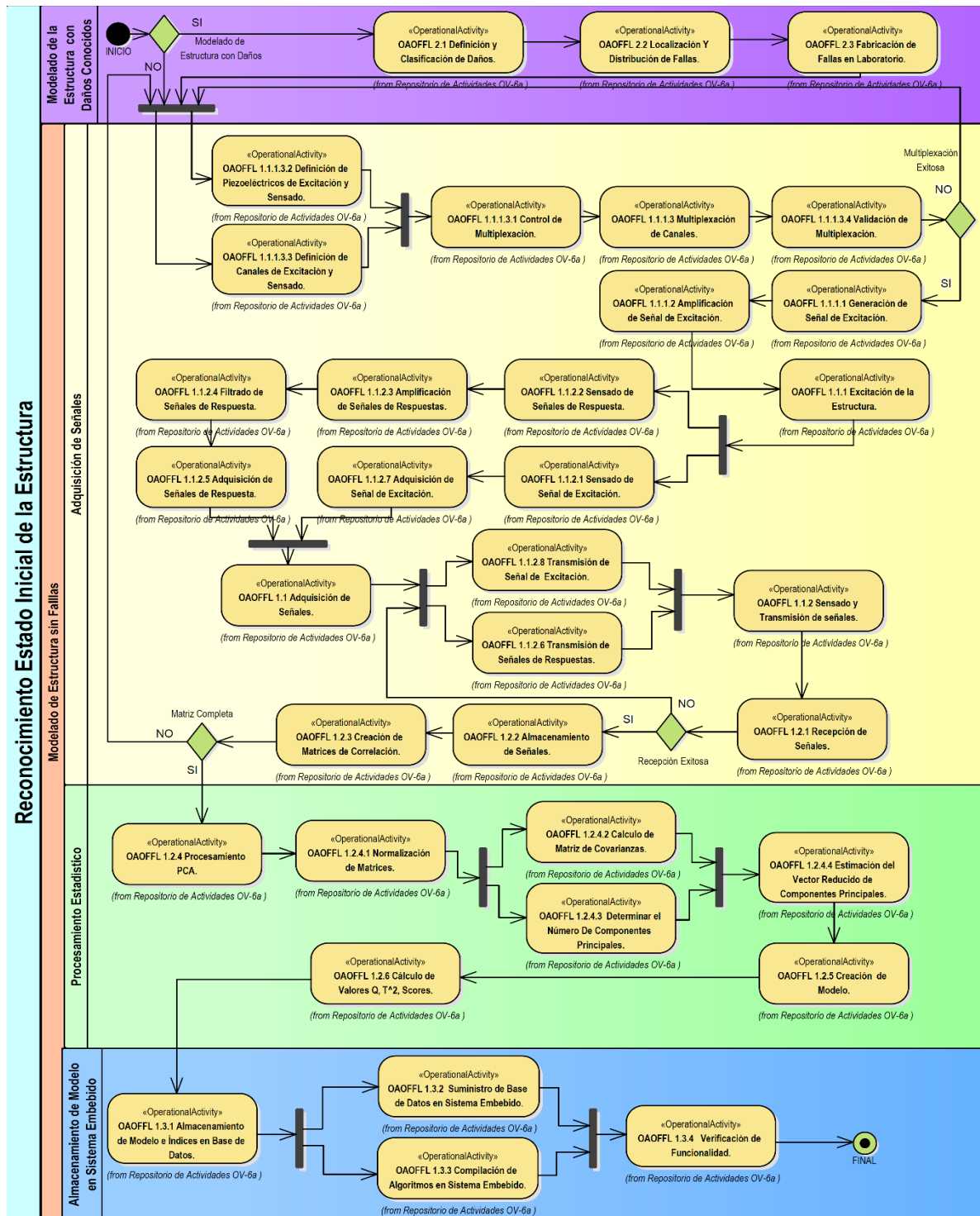
ANEXO H. OV-5b Modelo de Actividades Operacionales - escenario ONLINE.

Figura 25. Modelo de Actividades Operacionales - escenario ONLINE.



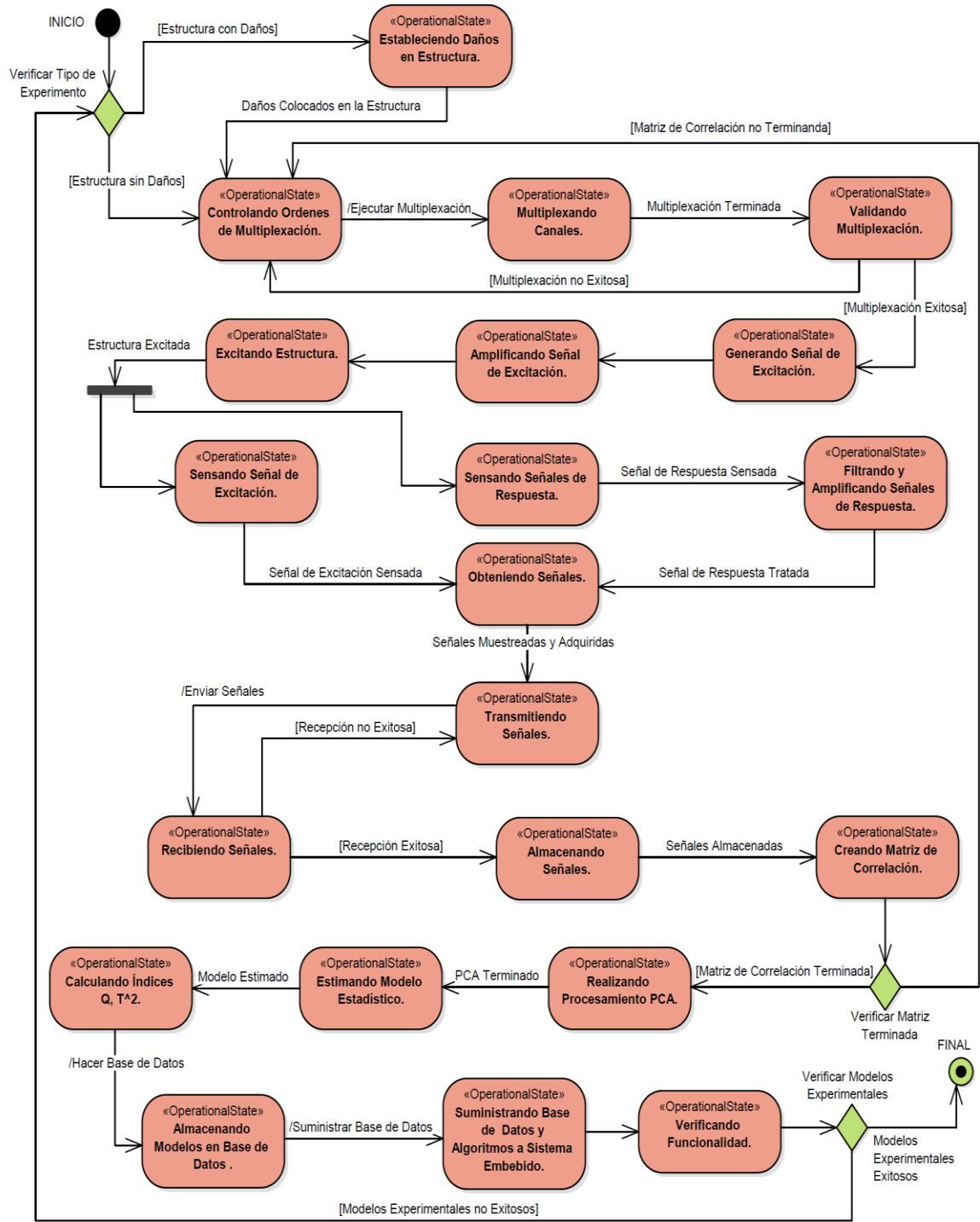
ANEXO I. OV-6a Modelo de Reglas Operacionales - escenario OFFLINE.

Figura 26.OV-6a Modelo de Reglas Operacionales - escenario OFFLINE.

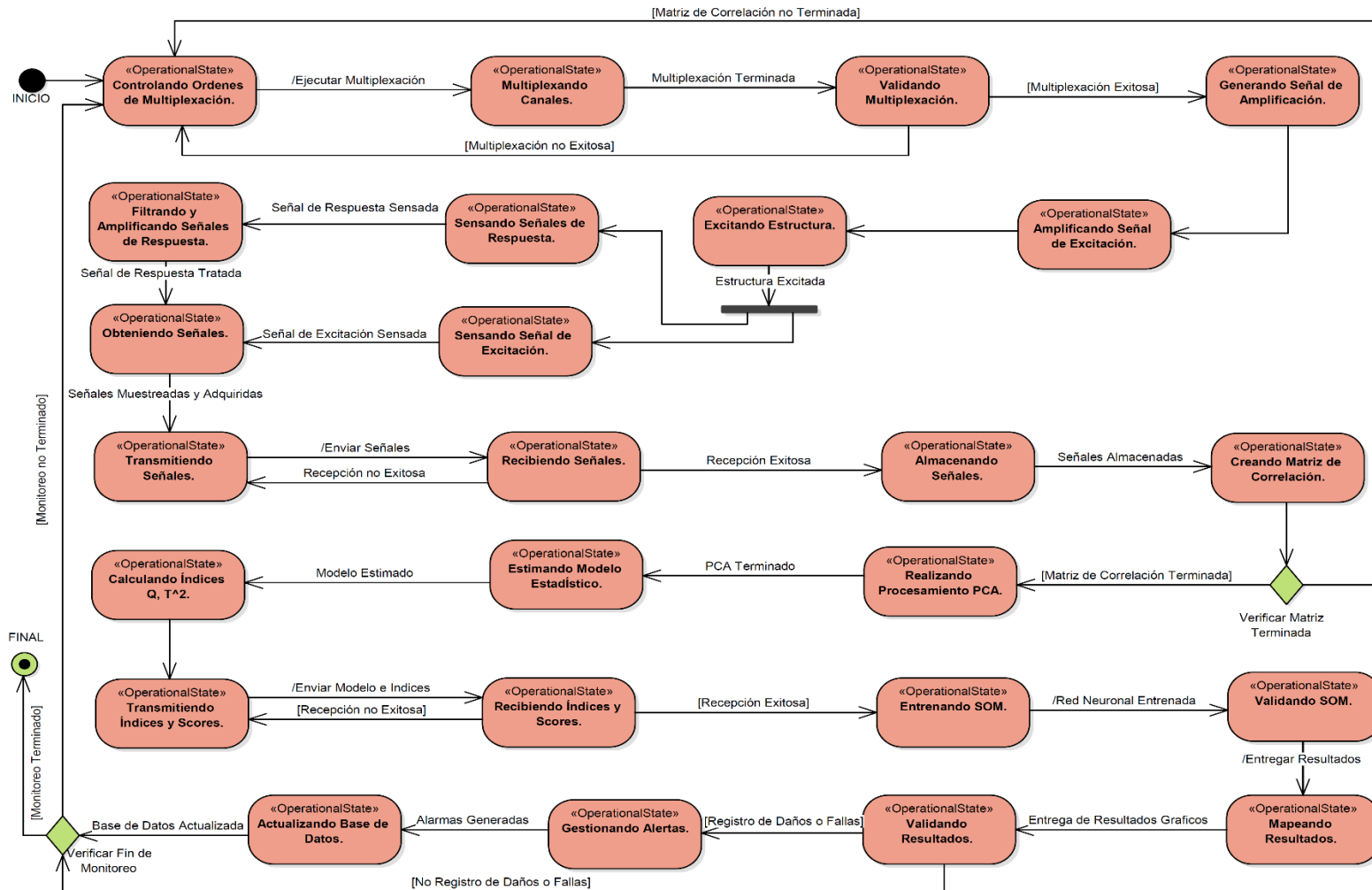


ANEXO J. OV-6b Descripción de Transición de Estados - escenario OFFLINE.

Figura 27. OV-6b Descripción de Transición de Estados - escenario OFFLINE

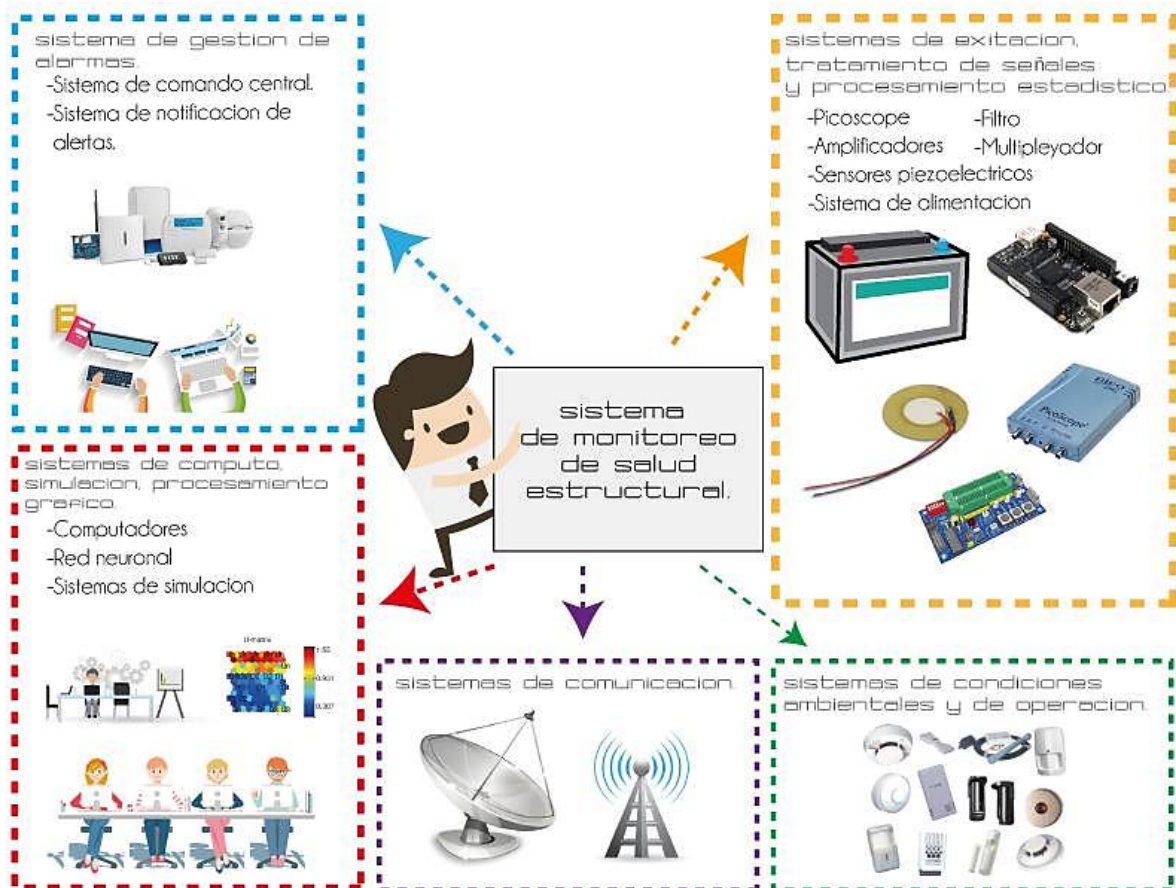


ANEXO K. OV-6b Descripción de Transición de Estados - escenario ONLINE.
 Figura 28. OV-6b Descripción de Transición de Estados - escenario ONLINE.



ANEXO L. SV-1 Descripción de Sistemas e Interfaces.

Figura 29. SV-1 Descripción de Sistemas e Interfaces.



ANEXO M. SV-3 Matriz de Relación Sistemas – Sistemas.

Tabla 13. . SV-3 Matriz de Relación Sistemas – Sistemas

SISTEMAS		S0.0 Sistema de Monitoreo de Salud Estructural.	S1.0 Sistema de Excitación, Tratamiento de Señales y Procesamiento Estadístico.	S1.1 Picoscope.	S1.2 Amplificadores.	S1.3 Filtro Pasa Altas.	S1.4 Sensores Piezoeléctricos.	S1.5 Sistema Embebido.	S1.6 Circuito de Multiplexación.	S1.7 Sistema de Alimentación.	S2.0 Sistema de Cómputo y Simulación.	S3.0 Sistema de Medición de Condiciones Ambientales y de Operación.	S4.0 Sistema de Procesamiento Gráfico.	S4.1 Sistema de Cómputo y Procesamiento Gráfico.	S4.2 Red Neuronal.	S5.0 Sistemas de Gestión de Alarmas.	S5.1 Sistema de Comando Central.	S5.2 Sistema de Notificación de Alertas.	S6.0 Sistema de Comunicación Inalámbrica.	
S0.0 Sistema de Monitoreo de Salud Estructural.		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
S1.0 Sistema de Excitación, Tratamiento de Señales y Procesamiento Estadístico.	X		X	X	X	X	X	X	X											
S1.1 Picoscope.	X	X		X	X		X	X	X											
S1.2 Amplificadores.	X	X	X		X	X		X												
S1.3 Filtro Pasa Altas.	X	X	X	X				X												
S1.4 Sensores Piezoeléctricos.	X	X		X				X												
S1.5 Sistema Embebido.	X	X	X						X	X		X								X
S1.6 Circuito de Multiplexación.	X	X	X	X	X	X			X											
S1.7 Sistema de Alimentación.	X	X	X					X	X											X
S2.0 Sistema de Cómputo y Simulación.	X							X				X	X	X						
S3.0 Sistema de Medición de Condiciones Ambientales y de Operación.	X															X	X			
S4.0 Sistema de Procesamiento Gráfico.	X							X			X		X	X	X	X	X			X
S4.1 Sistema de Cómputo y Procesamiento Gráfico.	X									X		X	X	X	X	X	X			X
S4.2 Red Neuronal.	X									X		X	X		X	X				
S5.0 Sistemas de Gestión de Alarmas.	X											X	X	X	X		X	X		
S5.1 Sistema de Comando Central.	X											X	X	X	X	X		X	X	
S5.2 Sistema de Notificación de Alertas.	X															X	X			
S6.0 Sistema de Comunicación Inalámbrica.	X							X	X			X	X				X			

ANEXO O. SV-5b Matriz de Relación Entre Actividades Operacionales y Sistemas.

Tabla 15. SV-5b Matriz de Relación Entre Actividades Operacionales y Sistemas

SISTEMAS ACTIVIDADES OPERACIONALES	S0.0 Sistema de Monitoreo de Salud Estructural.	S1.0 Sistema de Excitación, Tratamiento de Señales y Procesamiento Estadístico.	S1.1 Picoscope.	S1.2 Amplificadores.	S1.3 Filtro Pasa Altas.	S1.4 Sensores Piezoeléctricos.	S1.5 Sistema Embebido.	S1.6 Circuito de Multiplexación.	S1.7 Sistema de Alimentación.	S2.0 Sistema de Cómputo y Simulación.	S3.0 Sistema de Medición de Condiciones Ambientales y de Operación.	S4.0 Sistema de Procesamiento Gráfico.	S4.1 Sistema de Cómputo y Procesamiento Gráfico.	S4.2 Red Neuronal.	S5.0 Sistemas de Gestión de Alarmas.	S5.1 Sistema de Comando Central.	S5.2 Sistema de Notificación de Alertas.	S6.0 Sistema de Comunicación Inalámbrica.
	OAOFFL 0.0 Reconocimiento Estado Inicial de la Estructura.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
OAOFFL 1.0 Modelado de Estructura sin Fallas.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
OAOFFL 1.1 Adquisición de Señales.	X	X	X			X		X										
OAOFFL 1.1.1 Excitación de la Estructura.	X	X	X			X												
OAOFFL 1.1.1.1 Generación de Señal de Excitación.	X	X	X															
OAOFFL 1.1.1.2 Amplificación de Señal de Excitación.	X	X		X														
OAOFFL 1.1.1.3 Multiplexación de Canales.	X	X						X										
OAOFFL 1.1.1.3.1 Control de Multiplexación.	X	X						X										
OAOFFL 1.1.1.3.2 Definición de Piezoeléctricos de Excitación y Sensado.	X	X						X										
OAOFFL 1.1.1.3.3 Definición de Canales de Excitación y Sensado.	X	X						X										
OAOFFL 1.1.1.3.4 Validación de Multiplexación.	X	X						X										
OAOFFL 1.1.2 Sensado y Transmisión de señales.	X	X				X												
OAOFFL 1.1.2.1 Sensado de Señal de Excitación.	X	X				X												
OAOFFL 1.1.2.2 Sensado de Señales de Respuesta.	X	X				X												
OAOFFL 1.1.2.3 Amplificación de Señales de Respuestas.	X	X		X														
OAOFFL 1.1.2.4 Filtrado de Señales de Respuesta.	X	X			X													
OAOFFL 1.1.2.5 Adquisición de Señales de Respuesta.	X	X	X															
OAOFFL 1.1.2.6 Transmisión de Señales de Respuestas.	X	X	X															
OAOFFL 1.1.2.7 Adquisición de Señal de Excitación.	X	X	X															
OAOFFL 1.1.2.8 Transmisión de Señal de Excitación.	X	X	X															
OAOFFL 1.2 Procesamiento Estadístico.	X	X					X			X								

SISTEMAS	ACTIVIDADES OPERACIONALES																	
	S0.0 Sistema de Monitoreo de Salud Estructural.	S1.0 Sistema de Excitación, Tratamiento de Señales y Procesamiento Estadístico.	S1.1 Picoscope.	S1.2 Amplificadores.	S1.3 Filtro Pasa Altas.	S1.4 Sensores Piezoeléctricos.	S1.5 Sistema Embebido.	S1.6 Circuito de Multiplexación.	S1.7 Sistema de Alimentación.	S2.0 Sistema de Cómputo y Simulación.	S3.0 Sistema de Medición de Condiciones Ambientales y de Operación.	S4.0 Sistema de Procesamiento Gráfico.	S4.1 Sistema de Cómputo y Procesamiento Gráfico.	S4.2 Red Neuronal.	S5.0 Sistemas de Gestión de Alarmas.	S5.1 Sistema de Comando Central.	S5.2 Sistema de Notificación de Alertas.	S6.0 Sistema de Comunicación Inalámbrica.
OAOFFL 1.2.1 Recepción de Señales.	X	X					X			X								
OAOFFL 1.2.2 Almacenamiento de Señales.	X	X					X			X								
OAOFFL 1.2.3 Creación de Matrices de Correlación.	X	X					X			X								
OAOFFL 1.2.4 Procesamiento PCA.	X	X					X			X								
OAOFFL 1.2.4.1 Normalización de Matrices.	X	X					X			X								
OAOFFL 1.2.4.2 Calculo de Matriz de Covarianzas.	X	X					X			X								
OAOFFL 1.2.4.3 Determinar el Número De Componentes Principales.	X	X					X			X								
OAOFFL 1.2.4.4 Estimación del Vector Reducido de Componentes Principales.	X	X					X			X								
OAOFFL 1.2.5 Creación de Modelo.	X	X					X			X								
OAOFFL 1.2.6 Cálculo de Valores Q, T ² , Scores.	X	X					X			X								
OAOFFL 1.3 Almacenamiento de Modelo en Sistema Embebido.	X	X					X			X								
OAOFFL 1.3.1 Almacenamiento de Modelo e Índices en Base de Datos.	X	X								X								
OAOFFL 1.3.2 Suministro de Base de Datos en Sistema Embebido.	X	X					X			X								
OAOFFL 1.3.3 Compilación de Algoritmos en Sistema Embebido.	X	X					X			X								
OAOFFL 1.3.4 Verificación de Funcionalidad.	X	X					X			X								
OAOFFL 2.0 Modelado de la Estructura con Daños Conocidos.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
OAOFFL 2.1 Definición y Clasificación de Daños.	X																	
OAOFFL 2.2 Localización Y Distribución de Fallas.	X																	
OAOFFL 2.3 Fabricación de Fallas en Laboratorio.	X																	
OAONL 0.0 Monitoreo, Detección y Clasificación de Fallas.	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
OAONL 1.0 Adquisición, Tratamiento y Transmisión de Señales.	X	X	X	X	X	X		X										
OAONL 1.1 Excitación de la Estructura.	X	X	X			X												
OAONL 1.1.1 Generación de Señal de Excitación.	X	X	X															

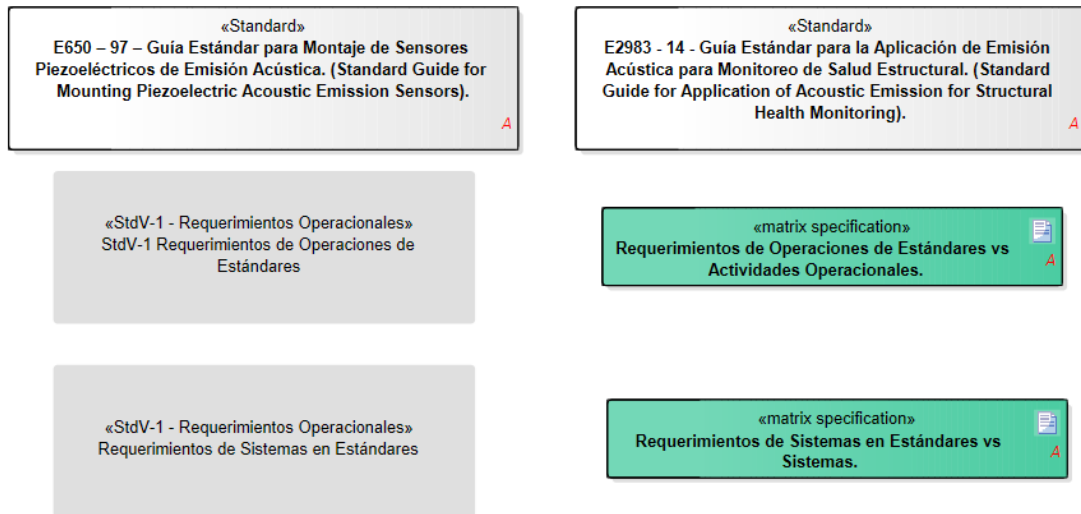
SISTEMAS	ACTIVIDADES OPERACIONALES																	
	S0.0 Sistema de Monitoreo de Salud Estructural.	S1.0 Sistema de Excitación, Tratamiento de Señales y Procesamiento Estadístico.	S1.1 Picoscope.	S1.2 Amplificadores.	S1.3 Filtro Pasa Altas.	S1.4 Sensores Piezoeléctricos.	S1.5 Sistema Embebido.	S1.6 Circuito de Multiplexación.	S1.7 Sistema de Alimentación.	S2.0 Sistema de Cómputo y Simulación.	S3.0 Sistema de Medición de Condiciones Ambientales y de Operación.	S4.0 Sistema de Procesamiento Gráfico.	S4.1 Sistema de Cómputo y Procesamiento Gráfico.	S4.2 Red Neuronal.	S5.0 Sistemas de Gestión de Alarmas.	S5.1 Sistema de Comando Central.	S5.2 Sistema de Notificación de Alertas.	S6.0 Sistema de Comunicación Inalámbrica.
OAONL 1.1.2 Amplificación de Señal de Excitación.	X	X		X														
OAONL 1.1.3 Multiplexación de Canales.	X	X						X										
OAONL 1.1.4 Control de Multiplexación.	X	X						X										
OAONL 1.1.5 Validación de Multiplexación.	X	X						X										
OAONL 1.2 Sensado y Adecuación de Señales.	X	X				X												
OAONL 1.2.1 Sensado de Señal de Excitación.	X	X				X												
OAONL 1.2.2 Sensado de Señales de Respuesta.	X	X				X												
OAONL 1.2.3 Amplificación de Señales de Respuesta.	X	X		X														
OAONL 1.2.4 Filtrado de Señales de Respuesta.	X	X			X													
OAONL 1.2.5 Adquisición de Señales.	X	X	X															
OAONL 1.2.6 Transmisión de Señales.	X	X	X															
OAONL 2.0 Procesamiento Estadístico y Detección de Fallas.	X	X					X											
OAONL 2.1 Recepción de señales.	X	X					X											
OAONL 2.2 Almacenamiento de Señales.	X	X					X											
OAONL 2.3 Creación de Matrices de Correlación.	X	X					X											
OAONL 2.4 Procesamiento PCA.	X	X					X											
OAONL 2.4.1 Normalización de Matrices.	X	X					X											
OAONL 2.4.2 Creación de Matriz de Covarianzas.	X	X					X											
OAONL 2.4.3 Estimación de Vector PCA.	X	X					X											
OAONL 2.5 Creación de Modelo Estadístico.	X	X					X											
OAONL 2.6 Cálculo de Scores y Valores Q, T ² .	X	X					X											
OAONL 2.7 Transmisión de Valores y Scores.	X																	X
OAONL 3.0 Procesamiento Gráfico y Clasificación de Fallas.	X											X	X	X				X

SISTEMAS	ACTIVIDADES OPERACIONALES																	
	S0.0 Sistema de Monitoreo de Salud Estructural.	S1.0 Sistema de Excitación, Tratamiento de Señales y Procesamiento Estadístico.	S1.1 Picoscope.	S1.2 Amplificadores.	S1.3 Filtro Pasa Altas.	S1.4 Sensores Piezoeléctricos.	S1.5 Sistema Embebido.	S1.6 Circuito de Multiplexación.	S1.7 Sistema de Alimentación.	S2.0 Sistema de Cómputo y Simulación.	S3.0 Sistema de Medición de Condiciones Ambientales y de Operación.	S4.0 Sistema de Procesamiento Gráfico.	S4.1 Sistema de Cómputo y Procesamiento Gráfico.	S4.2 Red Neuronal.	S5.0 Sistemas de Gestión de Alarmas.	S5.1 Sistema de Comando Central.	S5.2 Sistema de Notificación de Alertas.	S6.0 Sistema de Comunicación Inalámbrica.
OAONL 3.1 Recepción de Índices y Scores.	X											X						X
OAONL 3.2 Entrenamiento de la SOM.	X											X	X	X				
OAONL 3.2.1 Selección de Parámetros de la SOM.	X											X	X	X				
OAONL 3.2.1.1 Selección de Método de Entrenamiento.	X											X	X	X				
OAONL 3.2.1.2 Selección de Número de Neuronas.	X											X	X	X				
OAONL 3.2.1.3 Selección de Grid Structure.	X											X	X	X				
OAONL 3.2.1.4 Selección de Map Shape.	X											X	X	X				
OAONL 3.2.1.5 Selección de Neighborhood Function.	X											X	X	X				
OAONL 3.3 Validación de Calidad de la SOM.	X											X	X	X				
OAONL 3.3.1 Cálculo de Índices SOM.	X											X	X	X				
OAONL 3.3.1.1 Cálculo de error Topográfico.	X											X	X	X				
OAONL 3.3.1.2 Cálculo de Distorsión.	X											X	X	X				
OAONL 3.3.1.3 Cálculo de Histogram Uniformity.	X											X	X	X				
OAONL 3.4 Aplicación de Algoritmos Evolutivos Diferenciales.	X											X	X	X				
OAONL 3.5 Mapeo de Resultados.	X											X		X				
OAONL 4.0 Gestión de Alarmas.	X														X	X	X	
OAONL 4.1 Reporte de Incidentes.	X														X	X	X	
OAONL 4.2 Validación de Resultados.	X														X	X		
OAONL 4.3 Generación de Alarma.	X														X	X	X	
OAONL 4.4 Generación de Plan de Incidentes.	X														X	X	X	
OAONL 4.5 Actualización de Base de Datos.	X														X	X		

ANEXO P. StdV-1 Perfil de Estándares.

Figura 30. StdV-1 Perfil de Estándares.

StdV-1



Nota: Para visualizar los modelos, se ha creado una versión digital de los modelos adjunta en la carpeta de anexos de este proyecto.

ANEXO Q. Matriz Actividades operacionales Vs Estándares - Escenario OFFLINE.

Tabla 16. Matriz Actividades operacionales Vs Estándares - Escenario OFFLINE.

ESTÁNDARES	ACTIVIDADES OPERACIONALES																		
	Comparar las Condiciones Ambientales y de	Comparar los Datos de Monitoreo.	E2983-14 - Guía Estándar para la Aplicación de Emisión Acústica para Monitoreo de Salud	E650 - 97 - Guía Estándar para Montaje de Sensores Piezoeléctricos de Emisión Acústica.	Filtrado de Señales.	Número de Señales para el Estudio.	Perdidas.	Re-Inspección.	Recopilar Características de Emisión Acústica.	Recopilar Condiciones Ambientales y de Operación.	Recopilar de Características de Propagación de Ondas.	Recopilar Historial de la Operación.	Recopilar Propiedades del Material.	Requerimientos para Diagnóstico y Monitoreo.	Requerimientos para Recolección de Información de la Estructura.	Requerimientos de Análisis Datos.	Recopilar Información Sobre Diseño Estructural.	Verificar Respuesta.	
OAOFFL 0.0 Reconocimiento Estado Inicial de la Estructura.	X	X	X	X					X		X								X
OAOFFL 1.0 Modelado de Estructura sin Fallas.	X	X							X		X								
OAOFFL 1.1 Adquisición de Señales.		X				X			X		X			X	X				
OAOFFL 1.1.1 Excitación de la Estructura.			X			X													X
OAOFFL 1.1.1.1 Generación de Señal de Excitación.			X			X													X
OAOFFL 1.1.1.2 Amplificación de Señal de Excitación.																			
OAOFFL 1.1.1.3 Multiplexación de Canales.																			
OAOFFL 1.1.1.3.1 Control de Multiplexación.																			
OAOFFL 1.1.1.3.2 Definición de Piezoeléctricos de Excitación y Sensado.																			
OAOFFL 1.1.1.3.3 Definición de Canales de Excitación y Sensado.																			
OAOFFL 1.1.1.3.4 Validación de Multiplexación.																			
OAOFFL 1.1.2 Sensado y Transmisión de señales.			X			X					X					X			X
OAOFFL 1.1.2.1 Sensado de Señal de Excitación.			X			X										X			
OAOFFL 1.1.2.2 Sensado de Señales de Respuesta.			X			X					X					X			X
OAOFFL 1.1.2.3 Amplificación de Señales de Respuestas.																			
OAOFFL 1.1.2.4 Filtrado de Señales de Respuesta.			X		X											X			
OAOFFL 1.1.2.5 Adquisición de Señales de Respuesta.			X			X					X					X			X
OAOFFL 1.1.2.6 Transmisión de Señales de Respuestas.																			
OAOFFL 1.1.2.7 Adquisición de Señal de Excitación.			X			X										X			
OAOFFL 1.1.2.8 Transmisión de Señal de Excitación.																			

ESTÁNDARES	ACTIVIDADES OPERACIONALES																		
	Comparar las Condiciones Ambientales y de	Comparar los Datos de Monitoreo.	E2983-14 - Guía Estándar para la Aplicación de Emisión Acústica para Monitoreo de Salud	E650 - 97 - Guía Estándar para Montaje de Sensores Piezoeléctricos de Emisión Acústica.	Filtrado de Señales.	Número de Señales para el Estudio.	Perdidas.	Re-Inspección.	Recopilar Características de Emisión Acústica.	Recopilar Condiciones Ambientales y de	Recopilar de Características de Propagación de Ondas.	Recopilar Historial de la Operación.	Recopilar Propiedades del Material.	Requerimientos para Diagnóstico y Monitoreo.	Requerimientos para Recolección de Información de la Estructura.	Requerimientos de Análisis Datos.	Recopilar Información Sobre Diseño Estructural.	Verificar Respuesta.	
		X	X															X	
		X	X															X	
		X	X															X	
		X	X															X	
		X	X															X	
		X																X	
																			X
	X	X	X						X		X								
	X	X	X						X		X								
	X	X	X						X		X								
	X	X	X						X		X								

ANEXO R. Rubrica de Satisfacción y verificación de la arquitectura.

Tabla 17. Rubrica de Satisfacción y verificación de la arquitectura.

RUBRICA DE CONFORMIDAD					
TODAS LAS VISTAS		CONFORME	MEDIANAMENTE CONFORME	POCO CONFORME	COMENTARIO
AV-1	El modelo presenta el contexto, antecedentes y aplicaciones del sistema para el monitoreo de salud estructural basado en piezodiagnos.	X			Se encuentra plasmada la revisión de trabajos anteriores. Sin embargo, solo se incluyó trabajos realizados por los autores, se recomienda en trabajos futuros incluir un comparativo respecto a soluciones similares de otras fuentes.
	Las metas mencionadas están acordes a la aplicación objeto de estudio.	X			Al análisis de objetivos presentados están acorde a lo que se espera del sistema.
	Se muestran los requerimientos generales del sistema y estos se ajustan a las necesidades del sistema.	X			La proyección está encaminada a solucionar las limitaciones del sistema y muestra sus bondades.
	Son presentados los estándares adecuados para la aplicación tratada.	X			Se consideraron los estándares generales. Se recomienda realizar búsqueda e incluir la relación de trabajos de otros autores que aplique dichos estándares para validar su aplicabilidad o evaluar su pertinencia.
	Se establece el alcance de la arquitectura y se definen los artefactos arquitecturales que serán construidos.	X			Se considera el trabajo a futuro acorde a lo especificado por los desarrolladores del sistema.
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			La organización de la arquitectura permite identificar el cumplimiento de los objetivos
AV-2	El diccionario presenta de forma ordenada los conceptos necesarios para la comprensión de la arquitectura.	X			Se incluye los conceptos relacionados con el sistema.
	El diccionario presenta los acrónimos de cada uno de los conceptos facilitando el hallazgo de estos dentro de la arquitectura.	X			Es bastante ordenado
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			La organización de la arquitectura permite identificar el cumplimiento de los objetivos

VISTAS DE CAPACIDADES		CONFORME	MEDIANAMENTE CONFORME	POCO CONFORME	COMENTARIO
CV-1	La visión descrita en el modelo está acorde con las metas del sistema para el monitoreo de salud estructural basado en piezodiagnos.	X			Se considera a futuro la proyección de capacidades del sistema.
	Se definen las capacidades de alto nivel y sus relaciones con los efectos deseados del sistema.	X			Es claro el objetivo a largo a plazo
	Se determinan los efectos deseados del sistema y se muestra sus relaciones con la visión.	X			Las metas están acordes con lo esperado del sistema
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			Se consideraron los aspectos más relevantes de las capacidades del sistema
CV-2	Se identificaron correctamente las capacidades del sistema.	X			Se incluyó lo desarrollado hasta el momento por los autores
	El modelo agrupa adecuadamente las capacidades en grupos jerárquicos.	X			Se realizó una agrupación adecuada considerando características comunes del sistema
CV-3	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			Se describió las capacidades del sistema considerando lo desarrollado actualmente por los autores
	El modelo presenta los hitos donde se alcanzarán nuevas capacidades del sistema.	X			Los nuevos proyectos formulados evidencian un claro objetivo futuro del sistema
	Los hitos guardan una relación con el portafolio de proyectos.	X			El portafolio de proyectos es apropiado para el sistema
CV-4	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			Se consideró las proyecciones del sistema
	El modelo presenta la dependencia y relaciones entre las capacidades del sistema.	X			La relación de capacidades es acorde con lo desarrollado por los autores
CV-6	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			Las capacidades descritas son acorde al sistema
	La matriz relaciona correctamente las capacidades con las operaciones necesarias para alcanzarlas.	X			Se consideran operaciones que son acordes a las capacidades del sistema
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			La arquitectura enfatiza las capacidades del sistema y permite identificar las operaciones relacionadas.

VISTA DE OPERACIONES		CONFORME	MEDIANAMENTE CONFORME	POCO CONFORME	COMENTARIO
OV-1	La grafica muestra las operaciones de alto nivel y sus relaciones teniendo en cuenta los escenarios de aplicación y todas las etapas de procedimiento de Monitoreo de Salud Estructural.	X			La arquitectura permite identificar todos los componentes del sistema de manera apropiada.
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			La arquitectura planteada es de gran utilidad
OV-5a	Se identificaron correctamente las actividades operacionales de los dos escenarios de operación del sistema.	X			La relación establecida para cada escenario es adecuada.
	El modelo agrupa adecuadamente las actividades operacionales en grupos jerárquicos.	X			La relación de actividades está definida adecuadamente
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			Los objetivos son claros
OV-5b	El modelo presenta la dependencia y relaciones entre las actividades operacionales del sistema.	X			Se creó una un modelo que considera los aspectos más relevantes del sistema
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			La arquitectura describe correctamente los objetivos del sistema
OV-6a	El modelo presenta las reglas, restricciones y condiciones entre las actividades operacionales del sistema.	X			Se realiza un análisis adecuado del sistema
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			Es un modelo apropiado para el sistema
OV-6b	El modelo identifica los estados de operación y sus transiciones.	X			Los proyectos, actividades y metas están identificados claramente
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			El modelo permite identificar cada aspecto del sistema

VISTA DE PROYECTOS		CONFORME	MEDIANAMENTE CONFORME	POCO CONFORME	COMENTARIO
PV-1	El modelo presenta el portafolio de proyectos identificando programas, líneas y proyectos.	X			El portafolio es acorde con el sistema y sus líneas de investigación
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			Los proyectos planteados permiten cumplir la visión y objetivos del sistema
PV-2	El modelo presenta la evolución de los proyectos en el tiempo.	X			El tiempo considerado para el desarrollo de los proyectos es adecuado
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			El modelo permite identificar la secuencia de proyectos
PV-3	El modelo muestra la relación entre los proyectos y las capacidades afectadas, mostrando cuales son nuevas y cuales están en proceso de evolución.	X			Se considera lo desarrollado por los autores, así como las capacidades que deben ser desarrolladas
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			Los objetivos de los proyectos considerados son claros
VISTA DE SISTEMAS		CONFORME	MEDIANAMENTE CONFORME	POCO CONFORME	COMENTARIO
SV-1	El modelo identifica los elementos y sistemas que conforman la aplicación.	X			La organización es adecuada
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			Los sistemas considerados son pertinentes para el cumplimiento de objetivos
SV-3	El modelo presenta las relaciones entre los sistemas de la aplicación.	X			El planteamiento de los sistemas es claro
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			Los objetivos de cada sistema son claramente identificados
SV-4	El modelo identifica las funciones de cada uno de los sistemas de la aplicación.	X			Es claro el área de aplicación de cada sistema
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			Los sistemas planteados pueden cumplir los objetivos del proyecto

SV-5a	El modelo presenta las relaciones entre las actividades operacionales y las funciones de los sistemas.	X			Cada sistema tiene apropiadamente definida las actividades
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			Los sistemas del modelo permiten una evaluación de las capacidades del sistema
SV-5b	El modelo presenta las relaciones entre las actividades operacionales y los sistemas.	X			Las actividades de cada sistema son claras
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			Los objetivos pueden ser cumplidos con los sistemas descritos
VISTA DE ESTÁNDARES		CONFORME	MEDIANAMENTE CONFORME	POCO CONFORME	COMENTARIO
StdV-1	El modelo muestra los estándares revisados y sus relaciones con sistemas y operaciones para determinar brechas de estandarización.	X			Los estándares incluidos son los más usados. Sin embargo, es necesario identificar mejor las brechas
	El modelo está descrito correctamente y su creación es necesaria para cumplir los objetivos de la arquitectura.	X			El modelo permite identificar claramente algunos estándares del sistema