

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA CULIACÁN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL ESPACIO**



**DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL  
DETECTOR ADA/ADC DEL PROYECTO ALICE**

**TESIS**

como requisito para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN**

presentada por:

**JUAN CARLOS CABANILLAS NORIS**

**DIRECTORES:**

**DR. ILDEFONSO LEÓN MONZÓN**

**DR. MARIO IVÁN MARTÍNEZ HERNÁNDEZ**

Culiacán, Sinaloa, México. Diciembre de 2017

## DEDICATORIA

A mi esposa **Lupita** por su confianza, amor y paciencia que me ha tenido en todos estos años. Así como, por su apoyo en todo momento a lo largo de mi preparación académica y laboral.

A mi hijo **Juan Manuel**, por su entusiasmo, tenacidad, energía y amor que irradia en todo momento.

A mis padres por su apoyo, amor y ejemplo de vida:

**Martha Olivia Noris Valdez**

**Juan Cabanillas Rojas (†)**

## AGRADECIMIENTOS

A mi hermana **Perla**, mi cuñado **Rubén** y sobrina **Marthita** por su confianza, cariño y apoyo.

A mis suegros **Manuel Arturo** y **María Guadalupe**, así como a **Fátima**, **Efraín** y la pequeña **Aby** por su comprensión y apoyo incondicional en todo momento para conmigo y mi familia.

A mis **tíos** y **familiares** gracias por su confianza en mí.

A mi director de tesis, **Dr. Ildefonso León Monzón**, por apoyo en todo momento, mi más sincera gratitud hacia su persona, y mis más sinceros respetos por su entrega y tenacidad hacia su valioso trabajo y ejemplo.

A mi director de tesis, **Dr. Mario Iván Martínez Hernández**, por su valiosa aportación, paciencia y apoyo en el desarrollo de este trabajo; además de gran ser humano.

A los **compañeros y amigos de la UAS** (Julio C., Solangel, Gaby, Efraín, Álvaro, Omar I., Sergio, Dora, René, Wenceslao, Thania, Xiomara, Roberto B., Cristhian).

Al **Dr. Gerardo Herrera Corral**, **Dr. Arturo Fernández Téllez**, y al **grupo de trabajo de ALICE-BUAP** (Luis A., Abraham V., Mario Rodríguez, Héctor, Emma, Guillermo).

A los **Miembros del Comité de Tesis y Personal Docente y Administrativo del posgrado de Ciencias de la Información**, les estoy infinitamente agradecido por su apoyo y orientación en todo momento en la realización de este trabajo de investigación y estancia en este posgrado.

Al **Instituto Tecnológico de Culiacán**, **Universidad Autónoma de Sinaloa** y la **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla** por brindarme la oportunidad seguir superándome académicamente.

A la **Colaboración ALICE**, **Colaboración AD** y **Red ALICE** por su confianza y apoyo brindado en todo momento.

A **CONACYT** por su apoyo económico brindado para la realización de este trabajo.

# Resumen

La puesta en marcha de los diferentes sistemas de centrales del detector ALICE Diffractive (AD) en el experimento ALICE, que pertenece al Gran Colisionador de Hadrones (LHC), permitirán la toma de datos físicos de dicho detector; así como su funcionamiento en los diferentes tipos de corridas y paradas. En este trabajo de investigación se hace énfasis en el diseño, desarrollo y operación del Sistema de Control del Detector (DCS) AD.

Entre las principales funciones del sistema de control del detector (DCS) en el experimento son: permitir el control, monitoreo y configuración de los componentes de hardware que conforman a los diferentes detectores de ALICE; ya sea desde un centro de control instalado en el Punto 2, o bien de forma remota a los usuarios autorizados. De igual forma, el DCS es también responsable del intercambio de información del experimento con los sistemas y servicios externos, monitoreo y control de aspectos relacionados con la seguridad, así como con el almacenamiento de información de configuración de los elementos de hardware e información relevante originada de los detectores y sistemas del experimento.

Este trabajo propone el desarrollo de una metodología para modelar los procesos que intervienen en el diseño, puesta en marcha y funcionamiento del sistema de control de un detector perteneciente al experimento ALICE durante la corrida 2 del LHC, aplicando técnicas de ingeniería de software. Esto conforme a los lineamientos y normatividad publicados por los organismos responsables, tanto en ALICE como en el LHC.

Posteriormente, este análisis sienta las bases para el diseño y desarrollo de una arquitectura de control conforme a las necesidades y requerimientos específicos del detector AD, haciendo uso del software WinCC-OA®. En seguida la propuesta del sistema de control del detector AD es revisada e integrada al sistema de control global del experimento ALICE para sus diferentes tipos de corridas y operaciones necesarias para su funcionamiento.

Consecuentemente, el desempeño del sistema de control del detector AD es evaluado y comparado con los otros detectores y sistemas del experimento ALICE, para analizar las ventajas y desventajas considerando diferentes condiciones de funcionamiento.

Finalmente, se espera que este estudio sienta las bases para realizar el análisis de modelado de procesos relacionados con el desarrollo y mantenimiento de sistemas de control de detectores para su operación e integración en la corrida 3 del LHC que se está diseñando como parte del sistema Online-Offline (O<sup>2</sup>).

**Palabras Clave:** ALICE, CERN, DCS, detector, diagramas, LHC, UML, WinCC-OA®.

# Índice General

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivación y Antecedentes .....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	3
1.2.1 Objetivos .....	4
1.2.1.1 Objetivo general.....	4
1.2.1.2 Objetivos específicos.....	5
1.2.2 Justificación.....	5
1.2.3 Hipótesis.....	8
1.2.4 Metodología.....	8
1.3 Organización de la tesis .....	11
<b>2. El Gran Colisionador de Hadrones (LHC, Large Hadron Collider) .....</b>	<b>13</b>
2.1 Introducción al LHC.....	13
2.2 Experimentos del LHC .....	16
2.2.1 Detector ATLAS .....	16
2.2.2 Detector CMS.....	17
2.2.3 Detector LHCb.....	17
<b>3. Operación y Control del Experimento ALICE .....</b>	<b>19</b>
3.1 Introducción al experimento ALICE.....	19
3.2 Sistemas centrales para la operación y adquisición de datos del experimento .....	21
3.2.1 Sistema de Control del Experimento (ECS, Experiment Control System) .....	21
3.2.2 Sistema de Adquisición de Datos (DAQ, Data Acquisition System) .....	22
3.2.3 Procesador Central de Disparo (CTP, Central Trigger Processor) .....	23
3.3 Sistema de Control del Detector (DCS, Detector Control System) .....	23

3.3.1	Componentes del Sistema de Control .....	25
3.3.2	Capacidades y requerimientos del DCS .....	28
3.3.2.1	Capacidades del sistema de control.....	28
3.3.2.2	Requerimientos del sistema de control.....	29
3.3.2.3	Diseño y Pruebas del Sistema de Control .....	33
3.4	Centro de Control de Corridas de ALICE .....	34
<b>4.</b>	<b>Detector ALICE Diffractive (AD).....</b>	<b>36</b>
4.1	Justificación e impacto.....	36
4.2	Pruebas iniciales.....	36
4.3	Fabricación e instalación.....	37
4.4	Requerimientos de Infraestructura del detector.....	41
4.4.1	Alto Voltaje.....	41
4.4.2	Bajo Voltaje .....	44
4.4.3	Electrónica de Lectura (FEE).....	45
<b>5.</b>	<b>Modelado de Sistemas .....</b>	<b>48</b>
5.1	Introducción al Proceso Unificado Racional .....	48
5.2	Diagramas UML.....	49
5.2.1	Diagrama de Contexto .....	49
5.2.2	Diagrama de Caso de Uso .....	50
5.2.2.1	Diagrama simple de caso de uso.....	50
5.2.2.2	Descripción tabular de los casos de uso .....	50
5.2.3	Diagrama de Actividades.....	51
5.2.4	Diagrama de Secuencia.....	52
5.2.5	Diagrama de Clases .....	53
5.2.6	Diagramas de Estado.....	54
5.2.7	Requerimientos.....	54
5.2.7.1	Requerimientos Funcionales (RF) .....	54
5.2.7.2	Requerimientos No Funcionales (RNF) .....	55
5.3	Metodología para el Desarrollo de un Sistema de Control de un Detector .....	55
5.3.1	Diagrama de Contexto General del DCS .....	55

5.3.2	Análisis de Requerimientos.....	57
5.3.2.1	Actores .....	57
5.3.2.2	Objetivo y Justificación .....	57
5.3.2.3	Interesado – Experto en el Detector (ED) .....	58
5.3.2.4	Interesado – Experto en el DCS Central de ALICE (EDCSC) .....	62
5.3.2.5	Interesado – Operador en el DCS Central (ODCSC) .....	65
5.3.3	Modelo de Análisis.....	68
5.3.4	Modelo de Diseño.....	68
5.3.4.1	Arquitectura de diseño .....	68
5.3.4.2	Diagramas de Clase .....	70
5.3.4.3	Vista Dinámica.....	71
<b>6.</b>	<b>Descripción del DCS Desarrollado para el Detector AD.....</b>	<b>73</b>
6.1	Arquitectura de Capas del DCS .....	73
6.2	Arquitectura de Hardware .....	75
6.3	Arquitectura de Software .....	75
6.4	Descripción de los elementos de los diagramas de estado .....	78
6.4.1	Estados del DCS de AD .....	78
6.4.2	Acciones del DCS de AD .....	81
6.5	Control jerárquico.....	82
6.5.1	Unidad de Control Principal: ADO_DCS.....	82
6.5.2	Interfaz principal del usuario .....	85
6.5.3	Nodos ADC y ADA.....	87
6.5.4	Nodos ADC_HV, ADA_HV, ADC_LV y ADA_LV.....	91
6.5.5	Canales de alto y bajo voltaje en el DCS del sub-detector ADC.....	99
6.5.6	Canales de alto y bajo voltaje en el DCS del sub-detector ADA.....	104
6.6	Implementación de los Elementos de Hardware, Lógicos y FSM .....	105
6.6.1	Vista de Hardware (Hardware View) .....	106
6.6.2	Vista Lógica (Logical View) .....	108
6.6.3	Vista FSM (FSM View) .....	110
6.7	Configuraciones Adicionales .....	112

6.7.1	Alarmas de Temperatura .....	112
6.7.2	Gráficas de tendencias de temperatura .....	113
6.7.3	Registro histórico (archiving) de parámetros relevantes.....	114
<b>7.</b>	<b>Análisis de Desempeño, Conclusiones y Trabajo Futuro .....</b>	<b>117</b>
7.1	Análisis de Desempeño del detector AD.....	117
7.1.1	Parámetros de desempeño del DCS a evaluar .....	118
7.1.2	Análisis de resultados de las corridas .....	120
7.2	Conclusiones .....	138
7.3	Trabajo Futuro .....	140
	<b>Referencias.....</b>	<b>145</b>
	<b>Apéndices.....</b>	<b>155</b>
A.1	Casos de Uso Tabular para el Experto en el Detector .....	155
A.2	Casos de Uso Tabular para el Experto en el DCS Central de ALICE.....	164
A.3	Casos de Uso Tabular para el Operador en el DCS Central de ALICE.....	167
B.1	Diagramas de Actividades UML para el Experto en el Detector .....	172
B.2	Diagramas de Actividades UML para el Experto en el DCS Central de ALICE .....	188
B.3	Diagramas de Actividades UML para el Operador en el DCS Central de ALICE .....	192
C.1	Diagramas de Secuencia UML para el Experto en el Detector .....	198
C.2	Diagramas de Secuencia UML para el Experto en el DCS Central de ALICE.....	211
C.3	Diagramas de Secuencia UML para el Operador en el DCS Central de ALICE.....	216

# Índice de Figuras

Figura 1. Arquitectura de contexto de los principales aspectos de diseño y desarrollo del DCS teniendo como eje central el sistema de software SCADA denominado WinCC-OA®.....	9
Figura 2. Complejo de Aceleradores del CERN [1] .....	15
Figura 3. Detector ALICE actualmente [86].....	20
Figura 4. Sistemas centrales de ALICE [3] .....	21
Figura 5. Contexto del Sistema de Control ALICE [3].....	22
Figura 6. Interfaz de usuario estándar del DCS proporcionado por el grupo ACC [66] .....	32
Figura 7. Centro de Control de Corridas de ALICE: a) Entrada al ALICE RCC en el punto 2, y b) pantallas de los operadores del experimento y detectores .....	35
Figura 8. Prototipo inicial de pruebas para física difractiva [19] .....	37
Figura 9. Nomenclatura de los sub-detectores ADA y ADC en la caverna de ALICE.....	38
Figura 10. Instalación de los sub-detectores ADA y ADC en la caverna de ALICE.....	39
Figura 11. Módulo centellador terminado del sub-detector ADA .....	39
Figura 12. Módulos del sub-detector ADA colocados en su soporte metálico.....	40
Figura 13. Instalación de los sub-detectores a) ADC y b) ADA en el experimento ALICE.....	40
Figura 14. Pantalla principal de la participación de detectores de ALICE en una corrida física .....	41
Figura 15. Fuente de Alimentación Universal SY1527 de la compañía CAEN .....	42
Figura 16. Tarjeta de alto voltaje AG535DP de la marca CAEN .....	43
Figura 17. Tarjeta de bajo voltaje A1513B de la marca CAEN .....	44
Figura 18. Diagrama a bloques de la electrónica del detector ADA/ADC.....	46
Figura 19. Descripción visual de la representación de una clase en UML.....	54
Figura 20. Diagrama de contexto de la arquitectura del DCS central de ALICE.....	56
Figura 21. Elementos que componen el diagrama de casos uso del experto en el detector.....	61
Figura 22. Elementos que componen el diagrama de casos uso del experto en el DCS central de ALICE .....	64
Figura 23. Elementos que componen el diagrama de casos uso del operador en el DCS central de ALICE .....	67
Figura 24. Arquitectura de software UML del sistema de control de un detector del experimento.....	69
Figura 25. Arquitectura de capas del DCS de un detector en ALICE [60-61] .....	73
Figura 26. Diagrama de contexto de la arquitectura del sistema de control de un detector en el experimento ALICE .....	74
Figura 27. Arquitectura de hardware del DCS de ALICE [2] .....	76
Figura 28. Arquitectura de hardware del DCS del detector AD [71] .....	77

Figura 29. Arquitectura de software del DCS del detector AD [71] .....	77
Figura 30. Estados del nodo superior AD0_DCS en sistema de control del detector AD .....	79
Figura 31. Relación de estados para los diferentes nodos/unidades del detector AD .....	80
Figura 32. Relación de acciones de propagación para los diferentes nodos/unidades de AD.....	81
Figura 33. Diagrama de árbol de los nodos FSM de AD en los niveles superiores .....	83
Figura 34. Diagrama de estados FSM del nodo superior AD0_DCS [35].....	84
Figura 35. Diagrama de clases UML del nodo superior de AD (AD0_DCS) .....	85
Figura 36. Interfaz de usuario principal del detector AD en el DCS .....	87
Figura 37. Panel de control FSM del nodo principal AD0_DCS .....	88
Figura 38. Diagrama de estados FSM de las unidades de control ADC y ADA.....	88
Figura 39. Interfaz de usuario del nodo ADC en el DCS del detector AD .....	90
Figura 40. Interfaz de usuario del nodo ADA en el DCS del detector AD .....	90
Figura 41. Paneles de control FSM de los sub-detectores: a ) ADC, y b) ADA.....	91
Figura 42. Diagrama de árbol de los nodos FSM de AD en el nivel 3 (subsistemas ADC/ADA) .....	92
Figura 43. Diagrama de estado FSM de los nodos ADC_HV y ADA_HV (Ad0HvSystem) de AD en el DCS.....	93
Figura 44. Diagrama de estado FSM de los nodos ADC_LV y ADA_LV (Ad0LvSystem) .....	93
Figura 45. Diagrama de clase UML de la CU ADC .....	94
Figura 46. Diagrama de clase UML de la CU ADA .....	95
Figura 47. Interfaz de usuario del nodo ADC_HV del DCS del sub-detector ADC.....	96
Figura 48. Interfaz de usuario del nodo ADA_HV del DCS del sub-detector ADA.....	96
Figura 49. Interfaz de usuario del nodo ADC_LV del DCS del sub-detector ADC .....	97
Figura 50. Interfaz de usuario del nodo ADA_LV del DCS del sub-detector ADA .....	98
Figura 51. Paneles de control FSM del subsistema de HV de los sub-detectores: a) ADC y b) ADA.....	98
Figura 52. Paneles de control FSM del subsistema de bajo voltaje de los sub-detectores: a) ADC, y b) ADA.....	99
Figura 53. Diagrama de árbol FSM de los canales de alto y bajo voltaje del sub-detector ADC.....	100
Figura 54. Diagrama de estado FSM de los canales individuales de alto y bajo voltaje del detector AD .....	100
Figura 55. Diagrama de clase de los canales individuales de alto voltaje en el sub-detector ADC .....	102
Figura 56. Diagrama de clase de los canales individuales de bajo voltaje en el sub-detector ADC.....	102
Figura 57. Interfaz de usuario de un canal individual de alto voltaje del sub-detector ADC .....	103
Figura 58. Interfaz de usuario de un canal individual de bajo voltaje del sub-detector ADC .....	103
Figura 59. Paneles de control FSM de un canal individual de: a) alto, y b) bajo voltaje del sub-detector ADC .....	104
Figura 60. Diagrama de árbol FSM de los canales de alto y bajo voltaje del sub-detector ADA.....	105
Figura 61. Vista de la configuración de hardware del crate CAEN del detector AD en el DEN .....	106
Figura 62. Panel de definición de los elementos de hardware del detector AD en el DEN.....	107
Figura 63. Jerarquía de los elementos lógicos definida para los sub-detectores ADC y ADA .....	108
Figura 64. Panel de definición de los elementos lógicos del detector AD en el DEN .....	109

Figura 65. Paneles de definición lógica de los canales de alto y bajo voltaje en el DEN para los sub- detectores: a) ADC, y b) ADA .....	110
Figura 66. Paneles de la arquitectura jerárquica FSM en el DEN del DCS de los sub-detectores ADC y ADA.....	112
Figura 67. Gráficas de temperatura del crate Wiener y las tarjetas electrónicas .....	114
Figura 68. Gráfica del número de corridas físicas de los detectores del experimento ALICE durante el año 2015 (LHC15).....	122
Figura 69. Gráfica del número de corridas físicas de los detectores del experimento ALICE durante el año 2016 (LHC16).....	122
Figura 70. Gráfica del número de corridas físicas de los detectores del experimento ALICE durante el año 2017 (LHC17).....	123
Figura 71. Gráfica de la duración total de las corridas físicas de los detectores del experimento ALICE durante los años 2015, 2016 y 2017.....	123
Figura 72. Gráfica de número de EORs originados por los detectores y sistemas en corridas de datos físicos durante los años 2015 2016 y 2017 en el experimento ALICE.....	125
Figura 73. Gráficas comparativas de la eficiencia del experimento ALICE y detector AD para cada inyección de haz para las corridas físicas durante los años: a) 2015, y b) 2016. ....	126
Figura 74. Gráfica comparativa de la eficiencia global del experimento ALICE y del detector AD para cada inyección de haz para las corridas físicas durante el año 2017.....	127
Figura 75. Porcentaje de participación en las corridas (normalizado) y eficiencia de los detectores en las corridas físicas de la Run 2 del LHC durante el año 2015.....	128
Figura 76. Porcentaje de participación en las corridas (normalizado) y eficiencia de los detectores en las corridas físicas de la Run 2 del LHC durante el año 2016.....	128
Figura 77. Porcentaje de participación en las corridas (normalizado) y eficiencia de los detectores en las corridas físicas de la Run 2 del LHC durante el año 2017.....	129
Figura 78. Relación de procedimientos PAR erróneos en el experimento ALICE de las corridas físicas del año 2015.....	130
Figura 79. Relación de procedimientos PAR ejecutados y exitosos en los detectores del experimento ALICE para las corridas físicas del año 2016.....	130
Figura 80. Relación de procedimientos PAR ejecutados y exitosos en los detectores del experimento ALICE para las corridas físicas del año 2017.....	131
Figura 81. Gráfica del número de corridas cósmicas de los detectores del experimento ALICE durante el año 2015.....	133
Figura 82. Gráfica del número de corridas cósmicas de los detectores del experimento ALICE durante el año 2016.....	133
Figura 83. Gráfica del número de corridas cósmicas de los detectores del experimento ALICE durante el año 2017.....	134
Figura 84. Gráfica de los porcentajes de participación y eficiencia de los detectores de ALICE en las corridas cósmicas durante el año 2015.....	135
Figura 85. Gráfica de los porcentajes de participación y eficiencia de los detectores de ALICE en las corridas cósmicas durante el año 2016.....	135
Figura 86. Gráfica de los porcentajes de participación y eficiencia de los detectores de ALICE en las corridas cósmicas durante el año 2017.....	136

Figura 87. Gráfica del número de EORs que generaron los detectores y sistemas internos y externos del experimento ALICE en las corridas con rayos cósmicos durante los años 2015, 2016 y 2017 .....	137
Figura 88. Gráficas de las corridas individuales (Standalone Pulse/BC) en las que participa el detector AD durante los años 2015, 2016 y 2017 .....	138
Figura 89. Diagrama a bloques general de la actualización de ALICE para la Run 3 del LHC [109] ..	141
Figura 90. Diagrama a bloques de la CRU con sus partes comunes a todos los detectores [109] .....	142
Figura 91. Intefaces del DCS con los dispositivos de los detectores, servicios externos y el sistema O <sup>2</sup> [109] .....	144

# Índice de Tablas

Tabla I. Relación de detectores de experimento ALICE para funcionar en la Corrida 2 del LHC.....	20
Tabla II. Configuración de los canales de alto voltaje en el sub-detector ADC.....	43
Tabla III. Configuración de los canales de alto voltaje en el sub-detector ADA .....	43
Tabla IV. Configuración de los canales de bajo voltaje en el detector AD.....	45
Tabla V. Símbolos básicos de los diagramas de caso de uso .....	50
Tabla VI. Símbolos más representativos de los diagramas de actividades UML.....	52
Tabla VII. Relación y descripción estandarizada de colores para los diferentes estados de las FSMs .....	79
Tabla VIII. Configuración de las tarjetas y canales de voltaje en la vista de hardware del DEN del DCS .....	107
Tabla IX. Rango de temperatura y niveles de severidad de las alarmas crate VME Wiener.....	113
Tabla X. Rango de temperatura y niveles de severidad de las alarmas en las tarjetas de la FEE.....	113
Tabla XI. Relación de DPEs y sus Alias de los canales individuales de HV y LV enviados al archiving .....	115
Tabla XII. Relación de DPEs y sus alias de los parámetros de la tarjeta CCIU de la FEE .....	115
Tabla XIII. Características de los filtros de las corridas físicas seleccionadas en el ALICE Logbook ...	120
Tabla XIV. Resultados generales de las corridas físicas de los detectores del experimento ALICE durante los años 2015, 2016 y 2017 .....	121
Tabla XV. Listado de los sistemas en línea y detectores más recurrentes en la partición PHYSICS_1 del experimento ALICE .....	121
Tabla XVI. Características de los filtros de las corridas cósmicas seleccionadas en el ALICE Logbook .....	132
Tabla XVII. Resultados generales de las corridas cósmicas de los detectores del experimento ALICE durante los años 2015, 2016 y 2017.....	132
Tabla XVIII. Relación del número de corridas individuales (Standalone Pulse/BC) en los que participó el detector AD durante los años 2015, 2016 y 2017 .....	138

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Motivación y Antecedentes

El experimento ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*) está dedicado al estudio de la llamada interacción fuerte de la materia, particularmente al estudio de colisiones de iones pesados a muy altas energías en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC, *Large Hadron Collider*) perteneciente al Centro Europeo para la Investigación Nuclear (CERN, *European Organization for Nuclear Research*) [1, 2].

Uno de los sistemas más importantes de este experimento es el Sistema de Control del Experimento (ECS, *Experiment Control System*) de ALICE, el cual cumple dos objetivos principalmente: la correcta operación del experimento y garantizar la seguridad tanto de la infraestructura como del personal del mismo [2-3]. Asimismo, el sistema de control de ALICE está conformado por los sistemas en línea: Sistema de Control del Detector (DCS, *Detector Control System*), Sistema de Adquisición de Datos (DAQ, *Data Acquisition*), Procesador de Disparo Central (CTP, *Central Trigger Processor*) y Disparador de Alto Nivel (HLT, *High Level Trigger*), los cuales están interconectados a través del ECS.

Particularmente, el DCS permite el control, monitoreo y configuración de los equipos experimentales desde un único lugar de trabajo, denominado Centro de Control de Carridas de ALICE (ALICE RCC, *ALICE Run Control Center*) utilizando una plataforma de software que permite tanto la operación manual (mediante paneles de control) como automática (con el uso de

código script que se ejecutan automáticamente) del experimento. De igual manera, el DCS permite la comunicación con varios servicios y sistemas, tales como: el propio acelerador, enfriamiento, electricidad, magnetos, seguridad, control de acceso, entre otros; además proporciona retroalimentación a los mismos [4-5]. En [6-17] se pueden encontrar algunos ejemplos de los sistemas de DCS implementados en otros detectores, tanto del experimento ALICE, como de otros experimentos del LHC principalmente.

La instalación en el experimento ALICE del nuevo detector denominado ALICE Diffractive (AD), ha permitido expandir la capacidad de detección para eventos difractivos en colisiones: protón-protón (p-p), plomo-plomo (Pb-Pb), y protón-plomo (p-Pb); mediante la instalación de cuatro planos de contadores de partículas colocados en ángulos muy pequeños con respecto a la dirección del haz [18-19]. Este detector está conformado por dos sub-detectores ADA y ADC, colocados a los extremos de la caverna de ALICE. La integración del detector AD a la toma de datos de ALICE implica el diseño de un nuevo sistema de control específico para este detector.

Este trabajo de investigación propone el diseño de una metodología para el desarrollo, puesta en marcha, y funcionamiento del software de un sistema de control para el detector AD del experimento ALICE, para su integración en la Corrida 2 (*Run 2*) del LHC, aplicando técnicas de Ingeniería de Software. Algunas referencias previas de propuestas de estandarización y de modelados del DCS de otros experimentos diferentes al LHC se muestran en [20-21].

En este trabajo se propone el uso del Proceso Unificado Racional (RUP, *Rational Unified Process*) para modelar el diseño de un sistema de control de un detector en ALICE, considerando sus flujos de trabajo de: requerimientos, análisis, codificación y pruebas, para todas las fases de este modelo. La descripción de los flujos de trabajo en RUP es realizada mediante la aplicación del Lenguaje Unificado de Modelado (UML, *Unified Modeling Language* ®) [22-27]; conforme a la normatividad y requerimientos de la Coordinación de Control de ALICE (ACC, *ALICE Controls Coordination*), quien es el grupo encargado de coordinar y construir el sistema de control del experimento ALICE [28-35]. Este diseño cumple también con las especificaciones del grupo de servicio Proyecto de Controles Comunes (JCOP, *Joint COntrols Project*), que es una colaboración entre CERN y los cuatro experimentos del LHC [28-35]. Cabe aclarar que, por cuestiones de estandarización, en los diagramas de estado se utiliza la nomenclatura técnica de CERN [6].

Asimismo, para el desarrollo del sistema de control se utiliza una plataforma estandarizada de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA, *Supervisory Control And Data Acquisition*) denominada WinCC-OA (*Open Architecture*) ® de la compañía ETM [36-40]. Finalmente, este modelado es aplicado al desarrollo, integración y puesta en marcha del software del sistema de control (DCS) del detector AD. Debido a que, para que sea posible la toma de datos síncronos de cualquier nuevo detector en el experimento en conjunto con todos los demás detectores, necesita ser operado por los sistemas centrales de control de ALICE [2].

## 1.2 Planteamiento del problema

Los procesos de diseñar, simular, construir, instalar, poner en marcha y mantener operativamente un detector para experimentos de Física de Altas Energías (HEP, *High Energy Physics*) suelen ser bastantes complejos, debido a la naturaleza distinta de los detectores; asimismo las normas y requerimientos estipulados por los organismos correspondientes (tanto de ALICE como de CERN-LHC) se deben cumplir por parte de los grupos de trabajo de cada detector, desde su diseño y aprobación hasta el término de su vida útil.

Además del gran número de detectores y sub-detectores que necesitan ser controlados por los sistemas de control del experimento ALICE, también existen entre ellos enormes diferencias conceptuales y estructurales, como pueden ser: tipos de eventos que se desean analizar con las colisiones de partículas o rayos cósmicos, dimensiones, materiales (semiconductores, plásticos centelladores, cámaras de gases), parámetros que monitorea (temperatura, radiación, campo magnético, posición, sistema criogénico, etc.), tipo de actuadores para control (enfriamiento, potencia de los canales de alto y bajo voltaje, sistema de gases, etc.), infraestructura, número de canales de lectura, entre otras [6-17,41]. También como requisitos indispensables, todos los sistemas de control integrados al experimento deben ser coherentes y homogéneos, para permitir la fácil integración de los componentes de hardware, software o firmware de un detector o sub-detector; bajo la primicia de usar soluciones comunes a problemas comunes [2-3]. Por una parte, el grupo ACC recolecta los requerimientos de control comunes de cada uno de los subsistemas involucrados en los denominados Documentos de Requerimientos del Usuario (URDs, *User Requirements Documents*) [42]. En tanto que, en el grupo JCOP se discuten y desarrollan una serie de herramientas y componentes comunes para usarse en los sistemas de control. Estos

componentes se agrupan y distribuyen a los experimentos del LHC bajo el nombre de marco de trabajo denominado JCOP (*JCOP Framework*) [43-45].

A pesar de que en CERN existen manuales, artículos y software correspondientes al proyecto *JCOP Framework* [46-50] y software WinCC-OA [37-38, 51]; así como cursos de entrenamiento para operadores del DCS central de ALICE [4-5] y manejo de Máquinas de Estados Finitos (FSMs, *Finite State Machine*) [52-59]; pero no existe un documento de referencia metodológico que describa los procesos, elementos involucrados y requerimientos relacionados con el diseño, desarrollo y operación de los sistemas de control para detectores del experimento ALICE. Tampoco existe un informe inicial relacionado con el DCS dirigido hacia los nuevos expertos y operadores de los detectores, que permita entender el funcionamiento general e incluso crear nuevos desarrollos de sistemas de control en un menor tiempo.

Una parte fundamental del correcto funcionamiento de los sub-detectores ADA y ADC es su sistema de control. El DCS del detector debe estar debidamente integrado al sistema central de ALICE, siguiendo los lineamientos, normatividad y requerimientos de software estipulados por los grupos de ALICE (ACC) y CERN-LHC (JCOP) [29, 34-35]. Además, el DCS de estos sub-detectores debe ser flexible y escalable para enfrentar los cambios en el experimento durante su tiempo de vida útil. Finalmente, debido a que el sistema de control será operacional a lo largo de todas las fases operativas del experimento (adquisición de datos, interrupciones, etc.), es posible que se enfrente con modos de operación diferentes, que permitan la operación concurrente e independiente de cada sub-detector, o alguna parte de los mismos [60-63].

## 1.2.1 Objetivos

### 1.2.1.1 Objetivo general

- Diseñar, desarrollar y poner en marcha el software del Sistema de Control (DCS) del detector AD (conformado por los sub-detectores ADA y ADC) para integrarlo al sistema central del experimento ALICE y participar en la toma de datos síncronos durante la Corrida 2 (*Run 2*) del Gran Colisionador de Hadrones (LHC) aplicando una metodología del modelado de procesos para los sistemas de control de este experimento.

### 1.2.1.2 Objetivos específicos

- Analizar la normatividad, lineamientos y documentos relacionados con el diseño, desarrollo, integración y operación del Sistema de Control del Detector (DCS), que estén debidamente aprobados por la Coordinación de Controles de ALICE (ACC) y el Proyecto de Controles Comunes (JCOP), para ser aplicados en el detector AD.
- Desarrollar la propuesta de una metodología para modelar los procesos de diseño, puesta en marcha y funcionamiento del software en el Sistema de Control de un Detector (DCS) del experimento ALICE aplicando técnicas de Ingeniería de Software.
- Diseñar y desarrollar una arquitectura de control conforme a los requerimientos de hardware y prestaciones del detector AD aplicando el software SCADA denominado WinCC-OA®.
- Integrar el DCS del detector AD en el sistema de control global del experimento ALICE para participar en la toma de datos.
- Evaluar y analizar el desempeño del DCS del nuevo detector AD para los diferentes tipos de corridas, y comparar el comportamiento de sus parámetros más importantes con respecto a los demás detectores y sistemas centrales.

### 1.2.2 Justificación

La característica principal para un proceso de difracción es la presencia de una gran brecha en la distribución de rapidez; es decir, la ausencia de partículas creadas en la colisión cuya dirección está en un intervalo dado. El estudio de eventos difractivos con producción de bosones es importante para el entendimiento de la composición partónica (quarks y gluones al interior de los protones) del objeto intercambiado llamado *pomeron*. En la mayoría de los experimentos de altas energías, la selección de eventos de difracción se hace mediante el uso de esta característica en diferentes formas [18-19]. El estudio de la producción difractiva en el CERN-LHC es de gran interés, tanto por razones teóricas como experimentales [64]. La identificación de eventos difractivos no es experimentalmente sencilla. A bajas energías, a menudo es posible identificar y

medir el protón no difractado, pero en el LHC, esto se convierte en un gran reto, por lo que deben considerarse métodos alternativos.

La selección de eventos de difracción en ALICE estaba limitada por el rango sobre el cual los vacíos de rapidez podían detectarse. De tal manera que, es posible lograr mejores mediciones mediante la ampliación del intervalo de direcciones en el que la producción de partículas (o su ausencia) pueden ser detectados. La capacidad del experimento ALICE para detectar difracción se estuvo mejorando inicialmente de una manera simple, pero eficaz, por la adición de matrices de centelladores de prueba en posiciones con un ángulo muy pequeño respecto a la dirección del haz (esto es, muy cercanos al haz, pero alejados del punto primario de interacción); las cuales cubren el rango en que la producción de partículas cargadas (o su ausencia) es relevante para los eventos difractivos. El estudio de eventos difractivos con ALICE en colisiones protón-protón (p-p), plomo-plomo (Pb-Pb), y protón-plomo (p-Pb) mejoró su eficiencia con la instalación de los cuatro planos sub-detectores de ADA y ADC, esto hace únicos e imprescindibles a estos sub-detectores [65].

Otro de los beneficios del desarrollo y puesta en marcha de ADA y ADC para eventos de física difractiva, es que alrededor del 25% de los resultados de los eventos de colisiones p-p son del tipo difractivo. El conjunto de detectores que se tenían instalados en ALICE no tenía la cobertura para este tipo de eventos. Lo que implica una importante área de oportunidad para este tipo de estudios.

De esta manera para lograr los beneficios antes mencionados en el área de física difractiva, mediante el uso de los sub-detectores ADA y ADC, se requiere que éstos sean integrados a la toma de datos para los diferentes tipos de corridas del experimento. Debido a lo anterior es preciso diseñar una nueva arquitectura de control específica para estos sub-detectores; asimismo es necesario que el desarrollo del sistema de control (DCS) no solamente cumpla con los requerimientos propios del detector AD, sino también con los requerimientos y prestaciones especificados por el grupo de Coordinación de Control de ALICE (ACC) y de servicio del CERN-LHC, entre los que destacan [42-50]:

- Operar de forma correcta y segura al detector.
- Proporcionar condiciones óptimas de operación para la adquisición y almacenamiento de

los datos físicos de la más alta calidad.

- Configurar cerca de 200 parámetros de ajuste de la electrónica y niveles de la fuente de potencia que requiere el detector.
- Almacenar el comportamiento de los parámetros relevantes en la Base de Datos Fuera de Línea para Condiciones (OCDB, *Offline Conditions Database*) para permitir la reconstrucción de datos y calibración del detector.
- Automatizar procesos para la toma de datos en condiciones apropiadas para diferentes tipos de corridas de ALICE.
- Proporcionar múltiples interfaces para la visualización del comportamiento del detector, así como el control de los parámetros que definen su eficiencia.
- Operar un sistema SCADA de software como un sistema de control distribuido.
- Integrarse al sistema de control global del experimento ALICE.
- Cumplir con los requerimientos de control del detector para ser operado por el sistema central de ALICE (envío de comandos GO\_SAFE/GO\_SUPERSAFE, condición de *Magnet Safe*, configuración de alarmas y sus ayudas correspondientes, entre otros).

La propuesta de una metodología que recopile y modele los diversos procesos estandarizados de desarrollo del DCS y los elementos que intervienen, mediante el uso de la metodología RUP en conjunto con el lenguaje de modelado UML, facilitará las actividades de análisis y desarrollo de los sistemas de control a los nuevos colaboradores de los diferentes detectores que requieran adentrarse en ese tema.

Finalmente, se analizará el comportamiento del DCS del detector AD con respecto a los demás detectores del experimento ALICE durante los años 2015, 2016 y parte de 2017. Este estudio comprende el desempeño del nuevo detector en las corridas de adquisición de datos físicos (*physics runs*) para diferentes tipos de colisiones, y en corridas de adquisición de rayos cósmicos (*cosmic runs*). Para estos tipos de corridas se evaluarán parámetros de gran importancia como son: número y duración de las corridas en las que participan los detectores, eficiencia de la toma de datos (DTE, *Data Taking Efficiency*) del detector AD y el experimento ALICE; además de la cuantificación de los sistemas que generaron terminaciones de corridas (EOR, *End of Run*), así como de los procedimientos de Pausa y Recuperación (PAR, *Pause And Recover*). Adicionalmente,

se presentará la participación del detector AD en las corridas especiales individuales denominadas *Standalone Pulse/BC (Bunch Crossing)*.

### 1.2.3 Hipótesis

Desarrollar la propuesta de una metodología de modelado de los procesos de diseño, puesta en marcha y operación del sistema de control de un detector (DCS) del experimento ALICE para su aplicación en el desarrollo e integración del DCS de los nuevos sub-detectores ADA y ADC, mediante el uso del sistema SCADA WinCC-OA®.

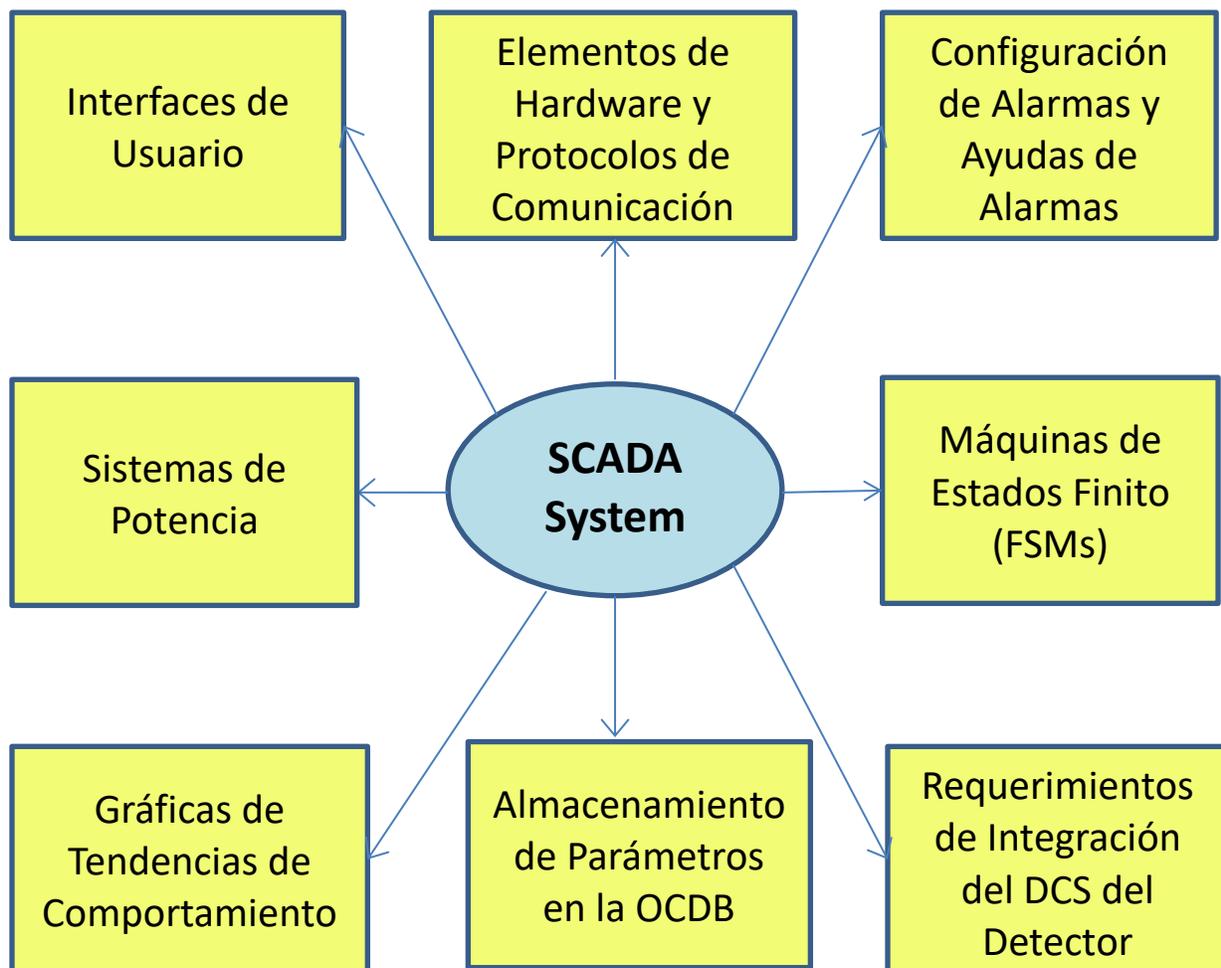
Además de facilitar a los nuevos expertos y operadores, las actividades de desarrollo y análisis de los sistemas de control, respectivamente; al estandarizar los requerimientos y procesos más importantes en los que intervienen los principales actores interesados, haciendo uso de la metodología RUP.

Esta propuesta permitirá al DCS de estos sub-detectores tener un óptimo desempeño en las corridas de adquisición de datos físicos, principalmente. Este desempeño puede evaluarse cuantitativamente mediante la estimación y comparación de los parámetros como son: número y duración de corridas, eficiencia (DTE), desempeño en los procesos de EORs y procedimientos PAR; con respecto a los demás detectores y sistemas del experimento. Este análisis también comprende la evaluación del DCS del detector AD para corridas con rayos cósmicos e individuales (*Standalone Pulse/BC*).

### 1.2.4 Metodología

A continuación, se describe la metodología propuesta para realizar este proyecto de tesis, en donde se definen brevemente los principales requisitos y elementos a considerar en el diseño y desarrollo del sistema de control de un nuevo detector, para su integración en la toma de datos del experimento ALICE. La figura 1 muestra la arquitectura de contexto de los principales aspectos de diseño y desarrollo del DCS, teniendo como eje central el sistema de software SCADA denominado WinCC-OA® versión 3.11 de la compañía ETM [36].

Primeramente, las Interfaces de Usuario (UI, *User Interface*) gráficas permiten a los operadores del experimento interactuar directamente con los dispositivos y equipos que conforman al detector. El diseño de las interfaces está definido de acuerdo con ciertas herramientas y lineamientos [66]. En todo momento se debe conservar la familiaridad entre los paneles de operación que perciben los operadores del DCS central; y a su vez permitir una fácil operación y visualización.



*Figura 1. Arquitectura de contexto de los principales aspectos de diseño y desarrollo del DCS teniendo como eje central el sistema de software SCADA denominado WinCC-OA®*

Los dispositivos y equipos que conforman el hardware de los sub-detectores son: fuente de alimentación y sus tarjetas para alto y bajo voltaje, sensores, actuadores, controladores lógicos

programables (PLCs, *Programmable Logic Controller*), Electrónica de Frontera Final (FEE, *Front-End Electronics*), redes de comunicaciones, principalmente [1, 67-69]. Asimismo, UNICOS (*UNified Industrial Control System*) es un *framework* de CERN desarrollado para producir aplicaciones de control para sistemas de control industrial para la capa tres (campo) de la arquitectura de hardware [2]. UNICOS propone un método para diseñar y desarrollar aplicaciones de control. Este método está basado en el modelado de los procesos en una jerarquía de objetos [45].

Por otro lado, los protocolos de comunicación autorizados que se aplicaron fueron: OPC (*OLE for Process Control*), DIM (*Distributed Information Management System*) y el controlador específico S7 [7, 32-33].

El sistema de control genera *alarmas* si al menos uno de los parámetros críticos, previamente definidos, tienen un valor no deseado o se encuentran fuera del rango nominal permitido; y de acuerdo con el nivel de desviación del valor se toman las medidas necesarias, ya sea por el operador responsable del DCS central en turno, o bien, por el experto de guardia (*on-call*) del detector. Para facilitar la operación continua del detector se recomienda especificar las *ayudas de alarmas* correspondientes, las cuales están conformadas por una serie de pasos que el operador del DCS central debe seguir para resolver el disturbio que provocó la alarma, en caso de que este procedimiento no requiera la intervención de un experto del sistema implicado [4-5, 70].

Los sistemas de potencia pueden ser de alto voltaje (HV, *High Voltage*) y bajo voltaje (LV, *Low Voltage*), y permiten alimentar subsistemas de los detectores, electrónica de frontera final (FEE), tarjetas de adquisición de datos, amplificadores de señal, entre otros [46-47].

Cada uno de los nodos que conforman la arquitectura de software del sistema de control, se realizaron aplicando Máquinas de Estados Finitos (FSMs). Los objetos modelados aplicando FSMs tienen un conjunto finito de *estados* estables y una serie de *comandos* posibles definidos en cada uno de ellos [71].

En muchas aplicaciones es necesario graficar las tendencias de parámetros importantes (temperatura, voltaje, corriente, entre otros) que permiten monitorear el estado actual y pasado del detector y sus componentes [72]. En el caso particular del detector AD, su DCS permite

visualizar gráficas de comportamiento de temperatura en el sub-detector ADC, fuentes de alimentación, y electrónica; así como los valores de voltaje y corriente para HV y LV.

La base de datos fuera de línea para condiciones (OCDB) almacena los valores de todos los parámetros relevantes para un posterior análisis [73-77]. Estos datos son adquiridos durante la adquisición de datos físicos, y los parámetros que se registran pueden ser: nivel base y ganancia de los amplificadores, voltaje y corriente de los PMTs, corriente de las tarjetas electrónicas, temperatura del detector, y demás parámetros que afectan los resultados físicos. Es posible monitorear el estatus del almacenamiento de los datos del DCS enviados a la OCDB para cada corrida, mediante el uso de la interfaz web denominada *monALISA* (MONitoring Agents in A Large Integrated Service Architecture) [78-81]. Otra forma de acceder a la OCDB es directamente a través del software WinCC-OA ®.

Por último, para la integración del sistema de control de un detector en el DCS central de ALICE durante la corrida 2 del LHC, es necesario cumplir con los diversos requisitos establecidos por el grupo ACC de ALICE [34-35]. Entre estos requisitos destacan: comandos GO\_SAFE/GO\_SUPERSAFE, almacenamiento automático de los parámetros correspondientes en la OCDB al inicio/fin de una corrida (SOR/EOR), implementación del nodo principal del árbol FSM del DCS del detector, definición y automatización del estado *Magnet Safe*. Adicionalmente serán requeridos: alarmas, ayuda de alarmas, botón virtual (en la UI principal del DCS) de paro de emergencia, monitoreo de información del LHC y sistemas externos, entre otros [4-5].

### 1.3 Organización de la tesis

La organización de este trabajo de tesis es la siguiente:

- En el capítulo 2 se presenta una breve descripción del funcionamiento y qué objetivos persigue el proyecto del Gran Colisionador de Hadrones (LHC); así como los principales experimentos que lo integran.
- En el capítulo 3 se presentan las principales características, subsistemas y detectores que componen el experimento ALICE. Además, se describen los sistemas centrales del experimento, haciendo énfasis en el sistema de control del detector (DCS) debido a que es el eje central del desarrollo de este trabajo de investigación.

- En el capítulo 4 se presenta la justificación del diseño y operación del detector ALICE Diffractive (AD). De igual manera, se muestran las características principales, y los elementos de infraestructura requeridos para su instalación y puesta en marcha en el experimento.
- El capítulo 5 describe los principales diagramas UML y de CERN, como son: contexto, casos de uso, actividades, estados, secuencia y clase; además se detallan los casos de uso tabular, y los requerimientos funcionales y no funcionales. Posteriormente, se presentan los elementos más importantes de la propuesta de una metodología orientada al desarrollo del sistema de control de un detector del experimento ALICE, considerando como base al detector AD. Este modelado de procesos de desarrollo se efectúa desde la perspectiva de los tres principales actores involucrados.
- En el capítulo 6 se muestran a detalle las arquitecturas, modelado y paneles de FSMs, interfaces de usuario, diagramas de ingeniería de software y configuraciones adicionales del DCS del detector AD.
- En el capítulo 7 se presenta el análisis de resultados del desempeño de los detectores y sistemas de ALICE para los diferentes tipos de corridas durante los periodos de toma de datos de los últimos tres años: LHC15, LHC16 y LHC17. Así como, las conclusiones del trabajo y una descripción de las perspectivas a futuro.
- Adicionalmente se incluyen tres anexos de: a) casos de uso tabular, b) diagrama de instrucciones UML, y c) diagramas de secuencia UML de la metodología de desarrollo de sistemas de control de detectores.

## Capítulo 2

# El Gran Colisionador de Hadrones (LHC, Large Hadron Collider)

### 2.1 Introducción al LHC

En el Centro Europeo para la Investigación Nuclear (CERN) se investigan las estructuras fundamentales del universo; mediante el uso de grandes y complejos instrumentos científicos para estudiar las bases que constituyen la materia, es decir las partículas fundamentales. Estas partículas son colisionadas a velocidades cercanas a la de la luz, lo que ha permitido a los científicos conocer la forma en la que éstas interactúan y sus posibles leyes fundamentales que las rigen.

Los instrumentos utilizados en CERN para los propósitos antes mencionados son: aceleradores y detectores de partículas. Primeramente, los aceleradores impulsan las partículas a altas energías antes de hacerlas colisionar unas con otras o sobre objetivos fijos. Por otro lado, los detectores observan y registran los resultados de esas colisiones [1].

El Gran Colisionador de Hadrones (LHC) es un acelerador localizado cerca de Ginebra, Suiza en la frontera con Francia, el cual consiste en un anillo localizado a 100 m (en promedio) por debajo de superficie de la tierra con una circunferencia de alrededor de 27 km.

Los haces de protones e iones viajan dentro del LHC en tubos separados con direcciones opuestas y acelerando a energías de hasta 13 TeV antes de colisionar. Cabe mencionar que cada uno de los dos haces contienen alrededor de  $10^{11}$  protones circulando como un tren de grupos bien separados

especialmente, con una tasa de cruzamiento entre grupos de 40 MHz, lo que equivale a una ventana de tiempo de 25 ns entre las intersecciones de grupos consecutivos.

Los haces dentro del anillo son dirigidos por el campo magnético creado por electroimanes superconductores enfriados a  $-271.3$  °C, una temperatura más fría que el espacio exterior. Por esta razón, la mayor parte del acelerador está conectado a un sistema de distribución de helio, que enfría los imanes, así como a otros servicios de suministro.

La mayor parte del anillo se encuentra conformado por 1232 imanes dipolares superconductores de Niobio-Titanio (NbTi) con una longitud de 15 metros, los cuales permiten curvar los anillos [1]. Además, se encuentran 392 imanes cuadrupolares, cada uno de 5 a 7 metros de largo, los cuales enfocan los haces. Justo antes de la colisión, otro tipo de imán se utiliza para enfocar los haces aún más y aumentar las probabilidades de colisiones. Las partículas son tan pequeñas que la tarea de hacerlas colisionar es similar a disparar dos agujas a 10 kilómetros de distancia, con tal precisión que se encuentren a la mitad del camino.

Los aceleradores del CERN hacen colisionar las partículas dentro de los detectores, y éstos últimos registran diversas cantidades sobre las partículas, incluyendo su velocidad, masa y carga; a partir de las cuales los físicos podrán identificar una partícula. El proceso requiere muchas capas de sub-detectores complejos. Las partículas producidas en las colisiones normalmente viajan en línea recta, pero en presencia de un campo magnético sus trayectorias se vuelven curvadas. Los electroimanes alrededor de detectores de partículas generan campos magnéticos para aprovechar este efecto.

Los físicos pueden calcular el momento de una partícula, a partir de la curvatura de su trayectoria; las partículas con altos momentos viajan en líneas casi rectas, mientras que aquellas con muy bajo momento avanzan en espirales estrechos dentro del detector.

El programa de física del LHC se basa principalmente en las colisiones protón-protón. Sin embargo, en los períodos de funcionamiento más cortos, por lo general un mes por año, se incluyen colisiones de iones pesados en el programa [82].

A pesar de que los iones más ligeros se consideran también en el experimento ALICE, los esquemas de referencia base se realizan con los iones de plomo [2]. Los iones de plomo serán primero acelerados por el acelerador lineal LINAC 3, y el Anillo de Iones de Baja Energía (LEIR, *Low-Energy Injector Ring*) se utilizará como una unidad de almacenamiento de iones y de enfriamiento. Los iones también van a ser impulsados por los aceleradores PS (Proton Synchrotron) y SPS (*Super Proton Synchrotron*) antes de ser inyectados en el anillo del LHC; donde van a llegar a una energía de 2.76 TeV por Nucleón\*\* (o 575 TeV por ion), como se aprecia en la figura 2.

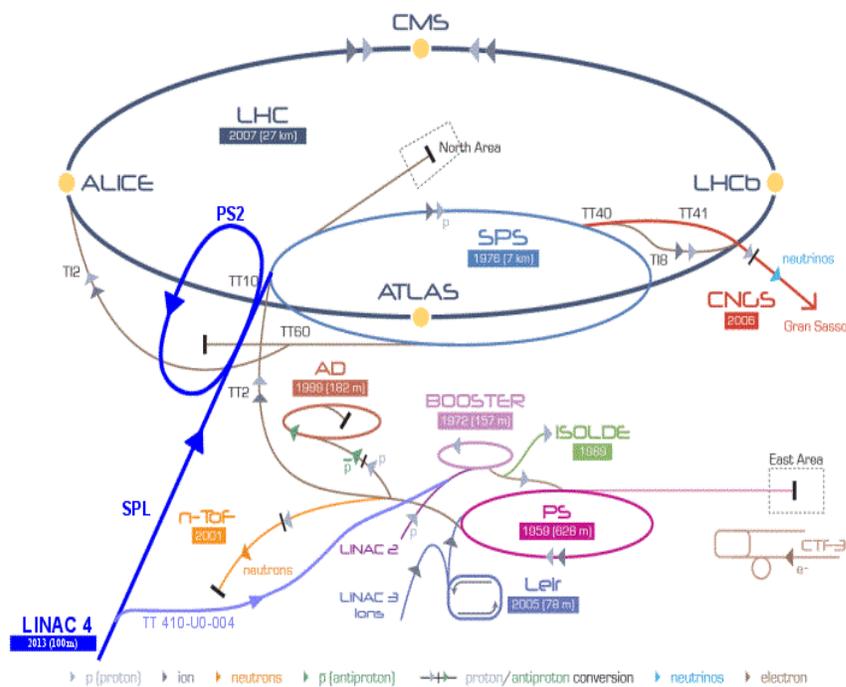


Figura 2. Complejo de Aceleradores del CERN [1]

Todos los controles del acelerador, sus servicios e infraestructura técnica se manejan desde el Centro de Control del CERN (CCC, *CERN Control Center*). Desde aquí, los haces dentro del interior del LHC se controlan para hacerlos colisionar en cuatro lugares alrededor del anillo acelerador, que corresponden a las posiciones de los cuatro experimentos principales del CERN: ATLAS (*A Toroidal LHC Apparatus*), CMS (*Compact Muon Solenoid*), ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*) y LHCb (*Large Hadron Collider beauty*).

\*\* Nucleón es un nombre genérico para referirse a protones y neutrones sin hacer distinción entre ellos. Supongo que 575 TeV es la energía nominal del LHC por cada núcleo o ion que tiene 208 nucleones: 82 protones y 126 neutrones. De ahí que la energía de cada uno de ellos sea de 2.7644 TeV.

El día 23 de noviembre de 2009, se llevaron a cabo las primeras colisiones protón-protón (p-p), en los experimentos del LHC, detectándose una energía de 900 GeV. En 2010, los protones colisionaron a 7 TeV; finalmente, el 3 de junio de 2015 se alcanzó una energía record de 13 TeV. Sin embargo, el LHC tiene una energía de diseño máximo de 14 TeV.

## 2.2 Experimentos del LHC

Para dar un panorama de la magnitud de este proyecto científico mundial (LHC) se describen brevemente las características más importantes de tres experimentos principales del LHC, sin considerar ALICE, el cual será descrito a detalle en el siguiente capítulo:

### 2.2.1 Detector ATLAS

ATLAS es uno de los dos detectores de propósito general en el Gran Colisionador de Hadrones, en donde se investiga una amplia gama de la física, el descubrimiento y estudio del bosón de Higgs, y partículas que podrían conformar la materia oscura [83] por ejemplo.

Los haces de partículas del LHC colisionan en el centro del detector ATLAS produciendo nuevas partículas, que vuelan desde el punto de colisión en todas las direcciones. Seis subsistemas de detección diferentes están dispuestos en capas alrededor del punto de colisión, registran las trayectorias, el momento y la energía de las partículas; lo que permite que sean identificadas individualmente. Un sistema de potentes electroimanes curva las trayectorias de las partículas cargadas, de modo que sus momentos se pueden medir.

Las interacciones en los detectores de ATLAS crean un enorme flujo de datos. Para definir estos datos, ATLAS utiliza un avanzado sistema de disparo (también conocido como *Trigger*, su nombre en inglés) para indicarle al detector qué eventos debe grabar y cuáles ignorar. Los complejos sistemas informáticos y de adquisición de datos analizan los eventos de colisión grabados. Con un largo de 46 metros, 25 metros de altura y 25 metros de ancho, el detector ATLAS de 7,000 toneladas, es el detector más grande de partículas en cuanto al volumen. Se encuentra en una caverna de 100 metros bajo tierra cerca del sitio principal del CERN en Meyrin en Suiza. En el experimento ATLAS participan más de 3000 científicos de 174 institutos en 38 países.

### 2.2.2 Detector CMS

El CMS es un detector de propósito general y está diseñado para investigar una amplia gama de la física, incluyendo la búsqueda del bosón de Higgs, dimensiones extra, y partículas que podrían conformar la materia oscura [84]. A pesar de que tiene similares objetivos científicos a los del experimento ATLAS, CMS utiliza diferentes soluciones técnicas y un diseño de sistema magnético distinto.

El detector CMS está construido alrededor de un enorme solenoide. Esto toma la forma de una bobina cilíndrica de cable superconductor que genera un campo de 4 Tesla, unas 100,000 veces el campo magnético de la Tierra. El campo está confinado por un yugo de acero que forma la mayor parte del peso de las 12,500 toneladas del detector.

Una característica inusual del detector CMS es que en lugar de ser construido *in situ* como los otros detectores gigantes de los experimentos del LHC, fue construido en 15 secciones a nivel del suelo antes de ser bajado a una cueva subterránea cerca de Cessy en Francia y vuelto a montar. El detector completo tiene 21 metros de largo, 15 metros de ancho y 15 metros de altura.

El experimento CMS es una de las mayores colaboraciones científicas internacionales en la historia, con la participación de 4,300 físicos de partículas, ingenieros, técnicos, estudiantes y personal de apoyo de 182 institutos en 42 países.

### 2.2.3 Detector LHCb

El experimento LHCb se especializa en la investigación de las ligeras diferencias entre la materia y antimateria, mediante el estudio de un tipo de partícula llamada *quark bottom* (o *beauty*).

En vez de rodear todo el punto de colisión con un detector cerrado, al igual que ATLAS y CMS, el experimento LHCb utiliza una serie de sub-detectores para detectar principalmente partículas frontales; es decir, las partículas producidas en la colisión que viajan hacia "adelante", o en la dirección tangencial de uno de los dos haces. El primer sub-detector está montado cerca del punto de colisión, con los otros siguiendo uno detrás del otro en una longitud de 20 metros.

Una gran cantidad de diferentes tipos de quark son creados por el LHC antes de combinarse con otros quarks para formar otras partículas (hadrones). Para la detección de los quarks b, LHCb ha desarrollado sofisticados detectores de trazas móviles cerca del recorrido de los haces circulando en el LHC [85].

El detector LHCb que pesa 5,600 toneladas se compone de un espectrómetro frontal y detectores planares. Tiene 21 metros de largo, 10 metros de altura y 13 metros de ancho, y se encuentra a 100 metros bajo tierra cerca de Ferney-Voltaire, Francia. Cerca de 700 científicos de 66 institutos y universidades de diferentes países componen la colaboración LHCb.

## Capítulo 3

# Operación y Control del Experimento ALICE

### 3.1 Introducción al experimento ALICE

ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*) es un experimento en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) dedicado al estudio de la llamada interacción fuerte, mediante colisiones de iones de Plomo (Pb), a muy altas energías. Está diseñado para estudiar la física de la materia que interactúa fuertemente a densidades de energía extremas, donde un estado de la materia llamado *Plasma de Quarks y Gluones* (QGP, *Quark–Gluon Plasma*) se forma debido a que, precisamente, los quarks y gluones se hallan libres en una pequeñísima región del espacio-tiempo. Las colisiones en el LHC generan temperaturas 100,000 veces mayores a la del centro del Sol. Una parte del año, el LHC realiza colisiones entre iones de plomo, lo que recrea en laboratorio condiciones similares a las que se tuvieron justo después de la denominada gran explosión (*Big Bang*). Bajo esas condiciones extremas, los protones y neutrones se separan en sus componentes fundamentales, liberando a los quarks de sus enlaces con los gluones. Esto es lo que se denomina plasma quark-gluón. La existencia de este estado de la materia y el estudio de sus propiedades es una parte clave de la teoría de la cromodinámica-cuántica (QCD, *Quantum Chromo-Dynamics*), para entender el fenómeno de confinamiento, y un problema de física denominado restauración de la simetría quiral. La colaboración ALICE estudia cómo el plasma quark-gluón se expande y se enfría, observando también cómo progresivamente da lugar a partículas (fotones, protones, electrones, piones, kaones, entre otras) que constituyen la materia de nuestro universo actualmente [2].

El detector ALICE pesa 10,000 toneladas con 26 m de longitud, 16 m de altura y 16 m de ancho, una imagen del detector ALICE se presenta en la figura 3. El detector que está ubicado en una

amplia caverna a 56 m debajo del nivel de tierra, cercano a la comunidad de Saint-Genis-Pouilly en Francia, recibe los haces del LHC. La colaboración ALICE cuenta con más de 1,000 científicos de más de 100 institutos de física e ingeniería en 30 países.



*Figura 3. Detector ALICE actualmente [86]*

Actualmente, el experimento ALICE tiene 19 detectores para su funcionamiento en la Corrida 2 (*Run 2*) del LHC, los cuales se enumeran a continuación en la tabla I [86]:

*Tabla I. Relación de detectores de experimento ALICE para funcionar en la Corrida 2 del LHC*

<b>Siglas</b>	<b>Nombre del Detector</b>
ACORDE	ALICE COsmic Ray DEtector
ADO	ALICE Diffractive
CPV	Charged Particle Veto
EMCAL	Electromagnetic Calorimeter
FMD	Forward Multiplicity Detector
HMPID	High Momentum Particle Identification Detectors
MUON TRG (MTK)	Muon Trigger System
MUON TRK (MCH)	Muon Tracking System
PHOS	Photon Spectrometer
PMD	Photon Multiplicity Detector
SDD	Silicon Drift Detectors
SPD	Silicon Pixel Detector
SSD	Silicon Strip Detector
T0	T-zero

TOF	Time of Flight
TPC	Time Projection Chamber
TRD	Transition Radiation Detector
V0	V-zero
ZDC	Zero Degree Calorimeter

### 3.2 Sistemas centrales para la operación y adquisición de datos del experimento

Enseguida se describen brevemente los sistemas centrales que permiten operar en sincronía los 19 detectores para que éstos registren las partículas resultantes de las colisiones como si fueran un solo detector general. Hay cuatro sistemas centrales: el DCS (*Detector Control System*), el TRG (*Trigger*), el DAQ (*Data Acquisition System*), y el HLT (*High Level Trigger*). Todos estos se coordinan mediante el ECS (*Experiment Control System*). Ver Figura 4.

#### 3.2.1 Sistema de Control del Experimento (ECS, *Experiment Control System*)

El ECS presenta una interfase gráfica que resume el estatus de todos los demás sistemas y permite configurar las condiciones de la toma de datos; es decir, los subsistemas\*\* que tomarán parte y el tipo de corrida, así como la configuración del sistema de disparo (*trigger*), como se aprecia en las figuras 4 y 5:

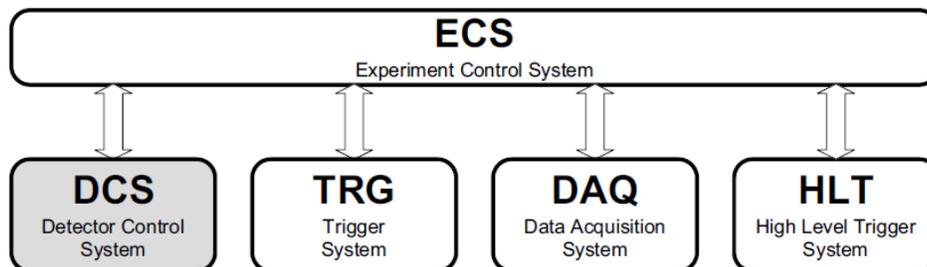


Figura 4. Sistemas centrales de ALICE [3]

\*\* En lo sucesivo se denominan "subsistemas" o "sub-detectores" a los 19 detectores listados en la Tabla I.

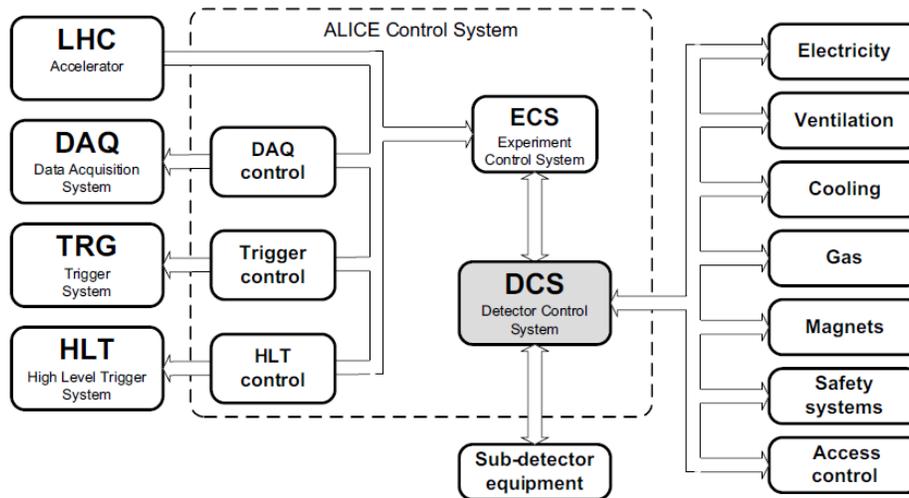


Figura 5. Contexto del Sistema de Control ALICE [3]

En condiciones normales de operación, el experimento ALICE será controlado por personal calificado desde un lugar de trabajo conectado a la capa ECS. El ECS es también responsable de la coordinación y sincronización entre los sistemas en línea involucrados y el acelerador LHC. De tal manera que, muchas de las operaciones de rutina y secuencias de operación predefinidas pueden ser programadas en el ECS; además de asegurar la calidad de los datos físicos adquiridos. Incluso, el ECS puede hacer una pausa en la adquisición de datos, en espera de que un detector afectado se recupere.

Finalmente, el ECS es el responsable de la partición del experimento. Esta característica permite que una parte del experimento (por ejemplo, un sub-detectores o subsistema) pueda ser operado de manera independiente y concurrentemente del resto del experimento [87].

### 3.2.2 Sistema de Adquisición de Datos (DAQ, *Data Acquisition System*)

Se encarga de la adquisición, transferencia, organización y preprocesamiento de los datos de cada evento. Un evento es la ocurrencia de la colisión de un protón (o un ión de Pb) de uno de los haces con un protón o (ión de Pb) del otro haz. El sistema DAQ se compone desde las tarjetas y circuitos electrónicos que registran, procesan y digitalizan las señales del detector, hasta un pequeño clúster de computadoras que agrupan y ordenan los datos provenientes de cada subsistema y los empaquetan en archivos que corresponden a cada evento. El sistema DAQ es de vital importancia

debido a que inicia la toma de datos junto con el ECS. De igual forma, el DAQ selecciona el tipo de toma de datos, las condiciones de disparo, y los detectores que adquirirán datos en una corrida en particular [88-89].

### **3.2.3 Procesador Central de Disparo (CTP, *Central Trigger Processor*)**

Permite discriminar las colisiones de interés para la física, de aquellas que no lo son. Esto evita que el experimento funcione innecesariamente y ahorrar espacio de almacenamiento al no tomar datos en cada colisión. Normalmente, existen muchas colisiones que no son de interés, ya sea por la forma en que interactuaron particularmente las partículas, si ocurren más de dos colisiones en un solo evento, o colisiones del haz con moléculas residuales de aire en el tubo del haz. También es capaz de seleccionar qué subsistema se encargará de esta discriminación (disparo de la adquisición de datos) y realizar operaciones lógicas con las decisiones de varios subsistemas para generar el disparo global de la toma de datos. Puede incluso generar más de una decisión usando diferentes combinaciones de subsistemas (llamadas particiones del *trigger*) [3].

## **3.3 Sistema de Control del Detector (DCS, *Detector Control System*)**

El objetivo principal del Sistema de Control del Detector en el Experimento ALICE (ALICE DCS) es realizar la operación correcta y segura de este experimento; proporcionando el control, monitoreo y configuración de los equipos experimentales. De tal manera que, todos los detectores del experimento ALICE y sus sistemas correspondientes, puedan ser operados por una sola persona desde un único lugar de trabajo, denominado ALICE RCC, por medio de un conjunto de paneles de operador.

El sistema de control permite reducir los tiempos de inactividad de los experimentos, y a su vez contribuir a una alta eficiencia de ejecución. Además, maximiza el número de detectores operacionales en todo momento. Las actividades y mejoras del DCS son reguladas y apoyadas por el equipo de Coordinación de Control de ALICE (ACC), en colaboración con el grupo de expertos de cada uno de los sub-detectores, y diversos grupos de servicio del CERN y LHC [60-61].

El DCS es un sistema coherente y homogéneo, que permite la fácil integración de los componentes, los cuales pueden ser: hardware, software o firmware de un sub-detector. Además de ser flexible y escalable, para enfrentar los cambios de los experimentos durante su tiempo de vida. Debido a que el sistema de control debe ser operacional a lo largo de todas las fases operativas del experimento (adquisición de datos, calibraciones, paradas técnicas, entre otras), es posible que se enfrente con modos de operación diferentes, que permitan la operación concurrente e independiente de cada sub-detector, o alguna parte de él. De igual manera, el DCS debe brindar la capacidad de acceso remoto y ofrecer un mecanismo de control de acceso a los recursos del DCS basado en el perfil de cada usuario.

Todos los datos requeridos para configurar el equipo experimental están almacenados en una base de datos. Asimismo, todo dato relevante para la operación del experimento y/o para el análisis posterior de los datos de física es archivado y disponible en cualquier momento.

Asegurar la integridad del equipo detector es otra de las grandes tareas del sistema de control, por lo que es necesario que el sistema sea altamente confiable, y permitir tanto la realización de acciones de hardware como de software, en caso de situaciones de peligro o disturbios.

Del mismo modo, el sistema de control de ALICE es el responsable de configurar, monitorear y controlar el equipo del experimento, que consta de dispositivos de hardware comerciales, tales como: fuentes de poder, *crates* VME, entre otros; así como equipo especialmente diseñado conforme a los requerimientos del sub-detector, como son: circuitos electrónicos (integrados o discretos) de lectura diseñados especialmente para el mismo. También incluye dispositivos de cómputo, como son: computadoras, controladores lógicos programables (PLCs). Mediante sistemas de software tipo SCADA permite la operación global de todos los componentes de un sub-detector particular o de todo ALICE en conjunto. Estas tareas son realizadas mediante el envío de comandos de control y configuración desde el DCS hacia los dispositivos de hardware de un sub-detector; así como el envío de información de los dispositivos y equipos de detección respecto al estado de los mismos, hacia el DCS [30].

Finalmente, otra de las funciones del sistema de control es preprogramar las decisiones y acciones de control sin la intervención de algún operador, como puede ser la recuperación de errores.

### 3.3.1 Componentes del Sistema de Control

A continuación, se describen brevemente los principales componentes que conforman el DCS:

- **Software SCADA**

El software SCADA WinCC-OA® (conocido anteriormente como PVSS II) de la compañía ETM [36] fue elegido como el software para el desarrollo de los sistemas de control en los experimentos del Gran Colisionador de Hadrones; esto como parte de la evaluación de diversos sistemas de software propuestos, con relación a los requerimientos y necesidades comunes de los cuatro experimentos (ATLAS, CMS, ALICE y LHCb) más importantes del LHC [1]. Este estudio fue realizado por el organismo regulador denominado Proyecto de Controles Comunes (JCOP, *Joint COntrols Project*) [42].

El software WinCC-OA® es usado para los todos los experimentos del LHC, así como por muchos servicios, entre los que se encuentran: gas, seguridad, control de acceso, entre otros [30].

Entre las funcionalidades básicas de los sistemas SCADA se pueden resumir [39-40]:

- Adquisición de datos
- Registro y archivo de datos
- Tratamiento de alarmas
- Mecanismo de control de acceso
- Desarrollo de Interfaces de usuario

- **Frameworks JCOP-ALICE**

El Proyecto de Controles Comunes (JCOP) es una colaboración entre CERN y los cuatro principales experimentos del LHC, que ha permitido un foro de discusión y desarrollo de un conjunto de herramientas y componentes comunes usados para implementar un sistema de control [90]. De igual manera, el marco de trabajo (*framework*) ALICE fue desarrollado para proporcionar herramientas a los expertos de cada sub-detector en la elaboración de sus aplicaciones, y de esta manera asegurar homogeneidad en la integración de los sistemas de control de los sub-detectores que, de otra manera, pudieron haber resultado en sistemas independientes pero incompatibles.

Dado el gran número de sub-detectores y subsistemas que necesitan ser controlados, la mejor manera de tener un sistema de control integrado en el experimento ALICE, es desarrollar soluciones comunes para problemas comunes. Por lo que, los *frameworks* JCOP y ALICE proporcionan una estructura común donde los diferentes equipos de un sub-detector puedan trabajar; los cuales tienen los siguientes propósitos de manera general [51]:

- Proporcionar una estructura común que permita el desarrollo de un sistema coherente y homogéneo de equipos de trabajo múltiples y remotos.
- Ocultar en la medida de lo posible las herramientas fundamentales de desarrollo a los usuarios; que permita reducir la cantidad de entrenamiento y soporte requerido.
- Proporcionar tanto como sea posible, componentes configurados. Es decir, plantillas, elementos estandarizados y funciones requeridas para el sistema de control de un experimento.
- Proporcionar, tanto como sea posible, un modelo operacional común para los diferentes sub-detectores y dispositivos.

#### ▪ Máquinas de Estados Finitos (FSMs)

El software WinCC-OA® no proporciona por sí mismo la funcionalidad de una máquina de estados finitos (FSM); sino que se ha integrado, a través de la estructura JCOP, una herramienta de desarrollo de FSMs denominada SMI++ (*State Manager Interface*) [91]. De tal manera que, las entidades del sistema de control que se diseñen (incluyendo dispositivos de hardware) y entidades abstractas (como subsistemas) deben ser modeladas como una máquina de estados finitos. Estos objetos sólo pueden estar en un estado (*state*) y su cambio de estado puede ser disparado explícitamente por comandos (*commands*) o por la modificación del estado de otros de los objetos. Igualmente, SMI++ proporciona un lenguaje con el que se puede programar el comportamiento y control lógico de las FSMs; así como un conjunto de herramientas para implementar y verificar el sistema. El Lenguaje Administrador de Estados (SML, *State Manager Language*) permite al desarrollador describir objetos como máquinas de estados finitos e implementar secuencias y reglas [54-55].

#### ▪ Sistemas operativos

Todas las aplicaciones de WinCC-OA® se ejecutan en el sistema operativo Windows®, tanto en los Nodos de Trabajo (WN, *Worker Nodes*), como en los Nodos de Operación (ON, *Operator Nodes*). Ciertos nodos de trabajo se ejecutan en el sistema operativo Linux (SLC4) [2].

- **Accesos de comunicación y hardware**

Los protocolos de comunicación con el hardware están limitados, únicamente dos protocolos cubren estas necesidades:

- a) OPC (*OLE for Process Control*) es un estándar comercial ampliamente utilizado para comunicarse con dispositivos comerciales. Los servidores OPC permiten el acceso de la capa de control, conformada por WinCC-OA®, hacia los dispositivos de hardware comerciales de la capa de control. WinCC-OA® es un cliente genérico OPC.
- b) DIM (*Distributed Information Manager*) es usado para comunicar equipos construidos a la medida. Está disponible para muchas plataformas y bibliotecas de muchos lenguajes de programación. DIM implementa un mecanismo cliente-servidor sobre los protocolos TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol).
- c) Adicionalmente WinCC-OA® también puede comunicarse directamente con los equipos a través de diferentes buses industriales, como pueden ser: ModBus, CanBus, Profibus, RS232, y JTAG, principalmente [41].

- **Sistema de Seguridad del Detector ALICE (DSS, Detector Safety System)**

El Sistema de Seguridad del Detector (DSS) es el responsable de asegurar la protección de las personas, y de los dispositivos y equipos en los experimentos del LHC. De igual forma, otro de sus principales objetivos es detectar situaciones anormales y potencialmente peligrosas. Además de definir mediante el uso de equipos de control, las acciones predefinidas de protección en caso de ser requeridas; e incluso minimizar las consecuencias de los daños. De manera general, permite supervisar en todo momento las acciones de prevención y control de posibles riesgos o accidentes, verificar las condiciones de seguridad en la caverna permanentemente, y controlar el acceso de personas a la caverna cuando el acelerador o experimento está funcionando [92-94].

- **Sistema de Almacenamiento de Datos (Offline System)**

Se encarga de transferir los datos del DAQ a los sistemas de almacenamiento masivo en el CERN. ALICE genera aproximadamente 80 MB/evento y adquiere datos a un ritmo promedio de 1000 eventos por segundo. También realiza un monitoreo de los datos conforme se adquieren para asegurar su calidad, y es capaz de etiquetar cada evento acorde a la calidad de los mismos [73-77].

### 3.3.2 Capacidades y requerimientos del DCS

#### 3.3.2.1 Capacidades del sistema de control

El diseño y desarrollo de cualquier sistema de control para experimentos de altas energías debe cumplir con las siguientes capacidades conforme a su normatividad [2]:

- **Coherencia y homogeneidad:** A pesar de que los diferentes dispositivos y subsistemas que integran el detector pueden ser desarrollados por diferentes grupos de trabajo (en muchas ocasiones de distintos países o con integrantes de varias nacionalidades); estos elementos deben de poseer las características de coherencia y homogeneidad para que el sistema de control pueda permitir una fácil integración.
- **Flexible y escalable:** La duración del sistema de control del detector debe de cubrir desde la instalación y toda la vida útil del experimento. Asimismo, el sistema requiere ser flexible para facilitar los cambios, que de manera inevitable se presentarán en el experimento durante su tiempo de vida útil (modificaciones al hardware instalado o cambios en los procedimientos operativos del experimento). Adicionalmente, el sistema de control deberá ser escalable para permitir que nuevo hardware puede agregarse al mismo.
- **Permitir diferentes modos de operación y concurrencia:** El sistema de control de cualquier detector no únicamente funciona durante el periodo de adquisición de datos; sino que debe ser utilizable durante todas las fases del experimento, como son: físico, calibración, configuración, paro, entre otras. De igual forma, en cualquier momento que la operación experimental lo requiera, el hardware de cualquier sub-detector podrá manipularse de manera independiente. A la característica común que permite que cualquier parte del experimento

pueda ser operado de forma independiente y concurrente, sin interferir con el resto del experimento, se le denomina *particionamiento* [2].

- **Operarse intuitiva y amigablemente:** El objetivo principal del sistema de control ALICE es permitir la operación centralizada del experimento por un grupo reducido de personal variable desde un solo lugar de trabajo, denominado Centro de Control de Corridas de ALICE (ALICE RCC). De tal manera que, la mayoría de estos operadores podrán ser especialistas en el control u operación de un detector o subsistema del mismo; por esta razón, es muy importante que el sistema de control que se pretende diseñar considere la debida atención a la presentación del sistema a los operadores. Para ello, la interfaz operativa y visual del sistema necesita ser intuitiva y amigable con el usuario, de manera que sea de fácil operación [66], y que cuente con una extensa ayuda que permita orientar al operador en caso de disturbios.
- **Automatización de determinadas rutinas:** Muchas de las operaciones de rutina y tareas estandarizadas deberán, en lo medida de lo posible, ser automatizadas para evitar que puedan presentarse errores por parte del operador, y de esta forma incrementar la eficiencia del sistema de control. Un ejemplo de lo anterior es la recuperación de errores.
- **Mantenible:** El uso de hardware común y estandarizado deberá permitir al sistema de control ser fácilmente mantenible, aun cuando los expertos diseñadores y desarrolladores ya no se encuentren disponibles. Además, el cumplir con las anteriores características repercute en que las labores de mantenimiento requerirán de un menor esfuerzo y menores costos.

### 3.3.2.2 Requerimientos del sistema de control

Entre los principales retos a nivel técnico que los sistemas de control de los detectores propuestos deben cumplir para su integración y operación en ALICE, son los siguientes [2-5]:

- **Monitoreo de las características necesarias (valores analógicos y digitales) para la operación y/o adquisición de datos físicos del detector**

La adquisición de los parámetros de control debe ser realizada de manera automática por el DCS. De manera que, el usuario puede definir la forma en cómo deben adquirirse estos parámetros; los

cuales pueden ser recopilados con cierta regularidad (frecuencia) o cuando se presente algún evento o cuando suceda una combinación de ambos. Igualmente, el sistema de control debe proporcionar al operador la capacidad de que en cualquier momento pueda conocer el valor actual de un determinado parámetro; esto implica forzar a que esta variable pueda ser leída directamente por el sistema de control fuera de la operación de exploración normal.

#### □ **Reporte de Condiciones de Alarma**

El sistema de control requiere generar una alarma cuando el valor de uno o más parámetros se encuentran en una condición no deseada previamente definida. Por ello, será necesario que el sistema de control monitoree y compare continuamente los valores y/o estatus de los parámetros, con respecto a los nominales. Lo anterior implica que:

- Los parámetros analógicos puedan estar por arriba o debajo de un nivel de umbral de alarma. Si los parámetros se exceden de uno de esos umbrales, se deberá generar una alarma con su correspondiente nivel de severidad.
- Las condiciones de alarma con valores discretos son comparadas con los valores solicitados. Por ejemplo, si un dispositivo que puede estar en dos estados (binario), no está en el estado deseado por la condición, se debería generar una alarma.
- Las capacidades de manejar operaciones aritméticas y lógicas en las alarmas permitirán crear grupos y jerarquías, que realicen lo siguiente:
  - ✓ Que una condición de alarma pueda ser un algoritmo que dependa del estatus de muchos parámetros, tanto medidos como derivados.
  - ✓ Que una condición de alarma dependa del modo operacional o estado de experimento.
  - ✓ Manejar alarmas de forma jerárquica
  - ✓ Suprimir alarmas durante un periodo de tiempo.

#### □ **Recuperación de datos archivados para mostrar tendencias o análisis del detector**

Todos los parámetros medidos y sus derivados deben ser almacenados con un sello de tiempo (*time stamp*). El experto del sub-detector puede definir los parámetros que se van a archivar, y con qué frecuencia; ya sea manualmente por el operador, o de forma automática derivado de eventos

o alarmas. De esta forma, el operador puede recuperar datos para apoyarse en las actividades de solución de problemas o realizar un análisis de la información archivada, por ejemplo, tendencias de determinadas variables. En principio, el operador debe ser capaz de recuperar datos del valor o condición de cualquier parámetro definido en el sistema de control del detector, incluidos los parámetros de entrada desde sistemas externos. El operador podrá recuperar los datos por medio de: archivos de datos, histogramas, gráficos XY, pantallas de tendencias (*trending displays*), o por medio de herramientas estándar como una aplicación de hoja de cálculo.

#### □ **Registro y archivamiento de características, alarmas e interacciones del operador**

El sistema del detector debe poseer tres tipos de bases de datos con distintos propósitos de almacenamiento: a) configuración de todos dispositivos del experimento, detectores y subsistemas, b) variables operativas del experimento, así como, c) datos físicos leídos directamente de los detectores en determinadas corridas.

Primeramente, las *bases de datos de configuración* mantienen los datos necesarios para la configuración de los dispositivos de hardware o sistemas de cómputo e incluso el sistema de control completo en caso de requerirse; esto incluye dispositivos, tales como: fuentes de alimentación, circuitos integrados de la electrónica de lectura del detector, configuración de procesos, entre otros.

También entre los datos a almacenar se encuentra la información que es adquirida por el sistema de control, a través de sensores y dispositivos en el experimento, entre las que se incluyen: lecturas de alto y bajo voltaje, temperatura, intensidad de corriente, etc. Asimismo, se incluye el histórico operativo del sistema de control, como son: comandos enviados, cambios de estado, errores internos, alarmas, y mensajes de error generados por el sistema. Esta información es registrada en la llamada base de datos de condiciones (de operación) [74-77].

#### □ **Despliegue de información al operador**

La sala del ALICE RCC es el lugar de trabajo del operador DCS, y está equipada con pantallas de visualización específicas para una determinada aplicación. Para reducir el riesgo de que el operador del DCS se confunda al interactuar con muchas ventanas superpuestas, se ha considerado tener una o muy pocas ventanas especializadas abiertas al mismo tiempo, para de esta forma tener una operación del sistema de control más eficaz y menos riesgosa [4-5]. Esta

estrategia ha sido adoptada en el diseño estándar de la interfaz de usuario (UI) para separar la navegación jerárquica de la máquina de estados finitos (FSM) y el seguimiento de la acción (usado principalmente durante el funcionamiento normal) desde el control FSM, como se aprecia en la figura 6:

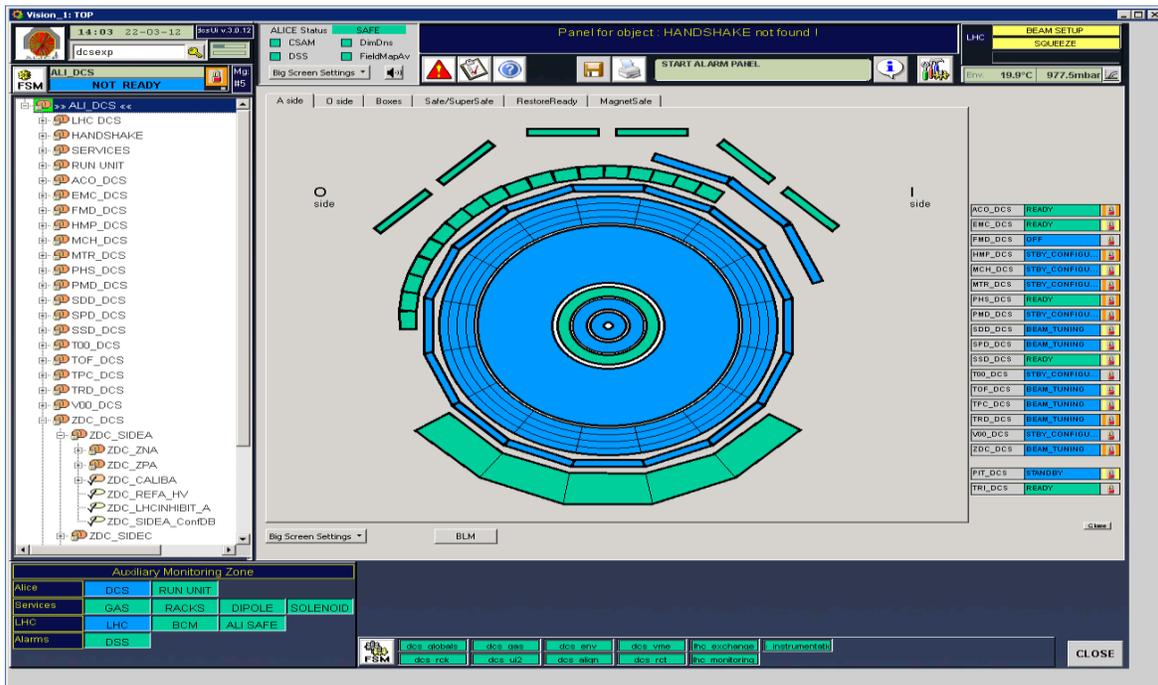


Figura 6. Interfaz de usuario estándar del DCS proporcionado por el grupo ACC [66]

De acuerdo con la figura anterior, en el lado izquierdo se encuentra la interfaz de usuario del Navegador de Árbol de Jerarquía FSM (*FSM Hierarchy Tree Browser*), mientras que en la parte derecha de la misma ventana se encuentra el panel de usuario para monitoreo (*User Panel for Monitoring*). El Panel de Usuario (UP, *User Panel*) tiene la intención de mostrar la información de monitoreo en relación con el nodo FSM seleccionado, el cual aparece resaltado en el navegador del árbol por un cuadrado rojo que rodea el icono correspondiente. De esta manera, mientras se navega a través del árbol FSM, en la zona de control aparecerá únicamente el correspondiente panel de usuario, sin aparecer nuevas ventanas. El desarrollo de un sistema de control para un detector en específico implica que la creación de los nodos FSM y la definición del árbol jerárquico de éstos, así como las interfaces de usuario operativas para los nodos FSM, tienen que ser diseñadas e implementadas conforme a las características y necesidades de cada detector.

### □ **Partición parcial o total de los detectores en el DCS Central de ALICE**

La jerarquía permite un alto grado de independencia entre sus componentes, y también a su vez por medio del concepto de partición, su uso concurrente. La partición es la capacidad de controlar y monitorear de manera independiente y concurrentemente partes de un sistema, generalmente sub-árboles del árbol de control jerárquico. Un ejemplo de aplicación de esta funcionalidad se presenta en las fases de instalación y puesta en marcha, cuando partes del sistema de control no se encuentran todavía disponibles, pero los sub-detectores necesitan controlar el equipo instalado. Del mismo modo, la partición es esencial durante las fases de corridas de pruebas y calibración del sub-detector. Únicamente las unidades de control y lógica en el árbol jerárquico de control pueden ser nodo raíz del árbol de control particionado [62].

### **3.3.2.3 Diseño y Pruebas del Sistema de Control**

#### ⊙ **Especificación de las características comunes**

El experimento ALICE consiste en un número gran número (más de 100) de árboles (o parte de ellos) de nodos FSM, entre los diferentes tipos de estos árboles se encuentran: alto voltaje (HV), bajo voltaje (LV), electrónica de lectura del detector (FEE), gas, enfriamiento, entre otros. Es importante recordar que los aún cuando la mayoría de los sub-detectores necesitará controlar sistemas de HV, LV y/o FEE, éstos no serán los mismos para cada sub-detector así como tampoco la jerarquía de control de los mismos; sino que dependen de los fenómenos físicos que se desean observar y cuantificar; así como las características propias de diseño, número de canales de lectura, y dimensiones [20].

#### ⊙ **Evaluar la operatividad de la arquitectura en una situación real**

Una vez terminado el desarrollo de software del sistema de control se iniciará con la etapa de pruebas directamente en el nuevo detector. La etapa de pruebas empezará con los modos de operación de instalación, calibración y puesta en marcha, teniendo al detector bajo un esquema de particionamiento independiente. Posteriormente, se dará inicio a la etapa de pruebas para integrar el detector al sistema central de ALICE (ECS). Finalmente, se inicia la etapa de adquisición de datos físicos en el experimento completo ALICE. Adicionalmente se evaluará el

desempeño y configuración de este detector bajo diferentes consideraciones de colisión y rayos cósmicos.

### 3.4 Centro de Control de Corridas de ALICE

El Centro de Control de Corridas de ALICE (ALICE RCC) es un sitio localizado en el Punto 2 del LHC, donde se realizan las operaciones coordinadas de los sistemas centrales de ALICE: Sistema de Control de Detectores (DCS), Sistema de Control del Experimento (ECS), Sistema de Adquisición de Datos (DAQ) y Sistema de Monitoreo de la Calidad de los Datos (DQM, *Data Quality Monitoring*); los cuales permiten la operación correcta y segura de todos los subsistemas que integran el experimento, además de controlar y monitorear la toma de datos para los diferentes tipos de corridas de los detectores y sus sub-detectores.

Para ello se cuenta con los recursos de hardware, software, comunicaciones e infraestructura general para permitir a los operadores del experimento ALICE y de los detectores, realizar actividades de control, monitoreo y configuración de los sistemas correspondientes. Se cuenta con pantallas dedicadas a monitorear los diferentes procesos de funcionamiento y operación de los detectores en general y su interacción con el LHC. Adicionalmente, los operadores expertos de cada sub-detector cuentan con espacios acondicionados con equipo de cómputo para realizar sus actividades de mantenimiento, operación y/o corrección de errores específicas del sub-detector en cuestión.

En condiciones de toma de datos en el experimento, en el centro de control de corridas se encuentran de guardia permanente (divididos en tres turnos): un operador de cada sistema (DCS, DAQ/ECS y DQM) y un líder de guardia (SL, *Shift Leader*). Además, se encuentran como responsables: Coordinador de Corridas (RC, *Run Coordinator*), Representante del Coordinador de Corridas (*Deputy RC*), y Administrador de Corridas (*Run Manager*). Igualmente, por norma, al menos un miembro de la guardia (que no sea el *Run Coordinator*) tiene que estar acreditado como Líder de Turno en Materia de Seguridad (SLIMOS, *Shift Leader In Matters Of Safety*). La figura 7 muestra la entrada y pantallas de operación del ALICE RCC localizado en el punto 2 del LHC.



a)



b)

*Figura 7. Centro de Control de Corridas de ALICE: a) Entrada al ALICE RCC en el punto 2, y b) pantallas de los operadores del experimento y detectores*

## Capítulo 4

### Detector ALICE Diffractive (AD)

En este capítulo se presentan la justificación, el impacto y los detalles tecnológicos del diseño, construcción, instalación e integración (al experimento) del detector AD en el experimento ALICE. Además, se presentan las características generales de este detector.

#### 4.1 Justificación e impacto

Un área de investigación con un notable potencial de descubrimiento en el LHC es la física difractiva. El proyecto ALICE inició, en 2014, un programa para explotar sus capacidades únicas para estudiar el tema, tanto en colisiones protón-protón, como en colisiones de iones pesados [19], mediante el diseño y construcción del detector AD; así como de sus sistemas en línea (DAQ, DCS, TRG, HLT) y fuera de línea (almacenamiento de datos). La puesta en marcha de este detector AD en el experimento ha permitido abordar algunos temas relevantes en el área de la física difractiva, al contar con detectores centelladores dispuestos a ambos extremos de los demás detectores que permiten registrar partículas en zonas que éstos últimos no cubren y que son de vital importancia para los fenómenos difractivos.

#### 4.2 Pruebas iniciales

Para la justificación y validación del programa de física difractiva en ALICE se fabricó e instaló un prototipo usando plásticos centelladores, como se aprecia en la figura 8 [19]. La información generada por este detector era registrada por el sistema de adquisición de datos (DAQ); pero era

controlado por el sistema de control (DCS) de otro sub-detector del experimento (ZDC, *Zero Degree Calorimeter*). De tal manera que también utilizaba dispositivos adicionales de ZDC, como es la interfaz con el sistema general de disparo (TRG) de ALICE. Por lo que la actualización de este prototipo que se denominó ADA/ADC, además de la construcción e instalación de nuevos módulos, también implicaba independizarlos de los sistemas de control de otros detectores. Fue necesaria la instalación y puesta en marcha de sus propios dispositivos electrónicos de lectura y sus sistemas asociados de adquisición de datos (DAQ), de control (DCS) y de disparo (CTP). Debido a que cualquier detector que opere en la adquisición de datos del experimento, tiene que constituirse como un subsistema del mismo, desde el punto de vista de su operación. Siendo requisito indispensable que todo subsistema debe ser capaz de integrarse a la toma de datos de forma síncrona con todos los demás subsistemas y, sobre todo, con los sistemas centrales de ALICE necesarios para su operación (adquisición de datos). Los datos y resultados obtenidos con ese prototipo permitieron que la colaboración ALICE aprobara la instalación de este nuevo detector AD en el experimento ALICE para su funcionamiento en la corrida 2 del LHC. Este prototipo mostró el gran potencial que ALICE tenía para estudiar este tipo de física en comparación con otros experimentos del LHC.



*Figura 8. Prototipo inicial de pruebas para física difractiva [19]*

### **4.3 Fabricación e instalación**

El detector AD fue diseñado para registrar partículas producidas en las interacciones a ángulos pequeños respecto a la dirección del haz a ambos lados del punto de interacción. Cada una de las partes de AD, instaladas a cada lado se denominan ADA y ADC usando la nomenclatura oficial en ALICE, donde cada lado se etiqueta con las letras A y C, respectivamente. Cada sub-detector ADA y ADC se compone de dos capas de detectores, en donde cada capa consta de cuatro módulos centelladores dispuestos a ambos extremos de los demás detectores de ALICE. Las siglas AD significan en inglés ALICE Diffractive.

En la figura 9 se muestra la orientación de la colocación de los sub-detectores de AD en la caverna de ALICE, así como la nomenclatura por capas y número de módulo.

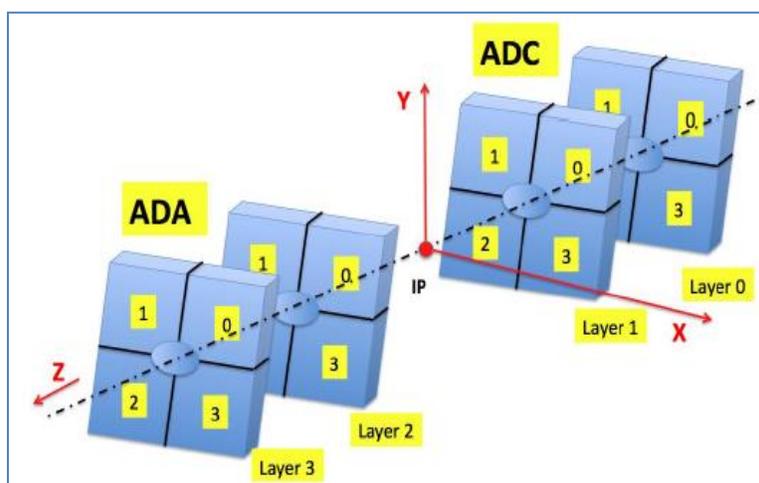


Figura 9. Nomenclatura de los sub-detectores ADA y ADC en la caverna de ALICE

La figura 10 muestra la colocación de los sub-detectores ADA y ADC en la caverna del experimento ALICE ubicado en el punto 2 del anillo del LHC. Los dos planos de detección están instalados en los extremos del punto de interacción (lados A y C) de la caverna del experimento. La distancia aproximada entre el punto de interacción, y los sub-detectores ADC y ADA es de 19 m y 17 m, respectivamente. Cada uno de los módulos del detector está constituido por un plástico centellador con dimensiones de  $216 \times 181 \times 25 \text{ mm}^3$ . Los cuatro módulos que conforman una capa están aislados ópticamente de manera que puedan proveer señales independientes al paso de partículas por cada uno de ellos. En dos de los costados de cada módulo se acoplan sendas barras corredoras de frecuencia (WLS, *Wave Length Shifting*). Cada uno de estos módulos es envuelto con materiales especiales (capas de mylar y aluminio recubiertas con cinta kapton) para evitar

fugas y lograr mejor captación de luz de centelleo producida por los plásticos cuando las partículas pasan a través de ellos. La Figura 11 muestra un módulo centellador del sub-detector ADA.

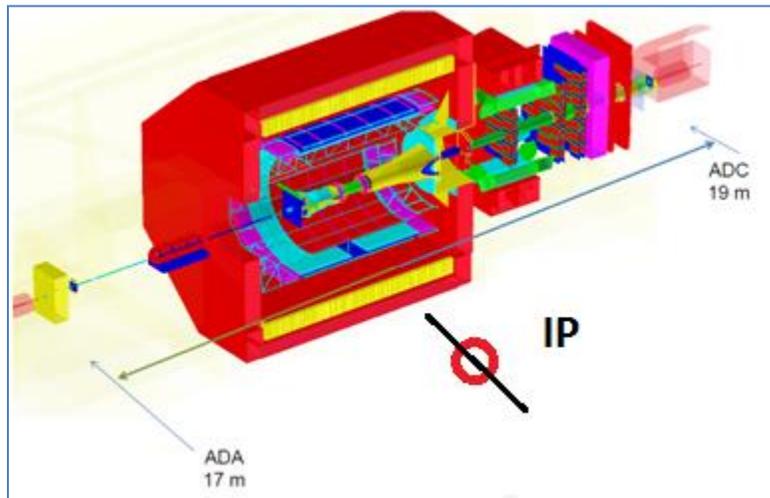


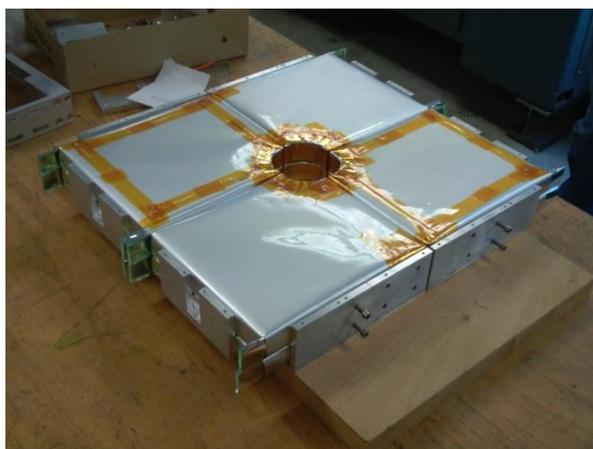
Figura 10. Instalación de los sub-detectores ADA y ADC en la caverna de ALICE



Figura 11. Módulo centellador terminado del sub-detector ADA

La luz producida por cada módulo es transmitida a su tubo fotomultiplicador (PMT, *Photomultiplier Tube*) correspondiente, a través de haces de fibras ópticas claras PSM (Clear-PSM) de la compañía japonesa Kuraray [95]. Cada uno de los haces de fibras ópticas contiene 192 fibras

arregladas de modo que el haz tenga sección cilíndrica para que pueda acoplarse eficientemente al PMT. Mientras que en el otro extremo se tienen dos conectores rectangulares (con 96 fibras cada uno) que se unen a los extremos que sobresalen de las dos barras WLS de cada módulo. Los ocho PMTs de cada sub-detector fueron instalados en cajas (*PMT boxes*). Finalmente, las dos capas de cada uno de los sub-detectores ADA y ADC fueron colocados en su respectivo soporte de aluminio para su instalación en la caverna de ALICE, véase la figura 12.



*Figura 12. Módulos del sub-detector ADA colocados en su soporte metálico*

La figura 13 muestra la instalación final de los sub-detectores ADA y ADC en el experimento ALICE.



*a) Sub-detector ADC*



*b) Sub-detector ADA*

*Figura 13. Instalación de los sub-detectores a) ADC y b) ADA en el experimento ALICE*

Finalmente, la figura 14 muestra una impresión en pantalla del *logbook electrónico (eLogbook)* de ALICE cuando el detector AD fue recién incorporado a las corridas en el DCS central en marzo de 2015. En esta última figura se aprecian los detectores que están incluidos en las corridas de adquisición de datos junto con el detector AD [96].

Detectors participating in runs at 17:11:51																								
<input checked="" type="checkbox"/> Readout Detector		<input type="checkbox"/> Trigger Detector		<input checked="" type="checkbox"/> Trigger & Readout Detector		Detectors																		
B E A M	R U N	C H L L U T S T M E O R D E	D U R A T I O N	E V E N T S	A	A	C	D	E	F	H	M	M	P	S	S	S	T	T	T	T	V	Z	
					C	D	P	E	M	M	H	P	S	S	S	O	O	F	C	D	I	R	R	O
Partition: TEST_2 CTP Config: CTP_testnotrd40mhz (v1)																								
	N 232110	A 22.6 h	248.3 M						✓					✓										
	2		248.4 M						✓					✓										✓
Partition: TEST_1 CTP Config: CTP_rnd1khz (v4)																								
	N 232173	A 19.5 m	350.8 k		✓	✓	✓				✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓
	1		343.9 k		✓	✓	✓				✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓

Figura 14. Pantalla principal de la participación de detectores de ALICE en una corrida física

#### 4.4 Requerimientos de Infraestructura del detector

En este apartado se presentan los requerimientos del sistema de control del detector AD en términos de infraestructura de alto y bajo voltaje, además de los componentes de la electrónica. Asimismo, se presenta una descripción de los equipos utilizados por los subsistemas antes mencionados, y sus configuraciones de parámetros más importantes.

##### 4.4.1 Alto Voltaje

El dispositivo principal para satisfacer los requerimientos de alto y bajo voltaje en el detector AD es una fuente de alimentación multicanal universal modelo SY 1527 de la compañía CAEN® [97],

la cual cuenta con 16 ranuras para colocar tarjetas de voltaje y control extendido (*Branch Controller*), véase la figura 15. Esta fuente se encuentra colocada en el Cuarto de Cableado (CR, *Counting Room*) número 4 del punto 2 del LHC. La fuente SY1527 tiene colocadas 3 tarjetas: dos de alto voltaje y una de bajo voltaje.



*Figura 15. Fuente de Alimentación Universal SY1527 de la compañía CAEN*

Las dos tarjetas de alto voltaje utilizadas son del modelo AG535DP de la marca CAEN, las cuales tienen la capacidad de proporcionar hasta 12 canales de alto voltaje con tierra común, como se aprecia en la figura 16. Los voltajes de salida de estas tarjetas se pueden fijar de 0 a 3.5 kV con un máximo de potencia de 6W por canal.



*Figura 16. Tarjeta de alto voltaje AG535DP de la marca CAEN*

Una de las tarjetas AG535DP se colocó en la ranura 1 de la fuente de alimentación CAEN modelo SY1527, de la cual se están utilizando ocho canales (del canal 00 al canal 07) para alimentar los fotomultiplicadores (PMT) del lado C del detector AD (ADC). En tanto que la tarjeta AG535DP restante, se colocó en la ranura 3 de la fuente de poder SY1527, de la cual se utilizaron ocho canales (del canal 00 al canal 07) para alimentar los fotomultiplicadores del lado A del detector AD (ADA).

En el sistema control de AD, los canales individuales del subsistema de alto voltaje (HV) tienen la nomenclatura de PMT\_X\_Y, donde X se refiere al número de capa (*layer*), en tanto que, Y se refiere al número de módulo del sub-detector que se está alimentando con ese canal (véase las tablas II y III).

*Tabla II. Configuración de los canales de alto voltaje en el sub-detector ADC*

Sub-detector	Nomenclatura de los PMTs	Canal
ADC	PMT_0_0	0
	PMT_0_1	1
	PMT_0_2	2
	PMT_0_3	3
	PMT_1_0	4
	PMT_1_1	5
	PMT_1_2	6
	PMT_1_3	7

*Tabla III. Configuración de los canales de alto voltaje en el sub-detector ADA*

Sub-detector	Nomenclatura de los PMTs	Canal
ADA	PMT_2_0	0
	PMT_2_1	1
	PMT_2_2	2
	PMT_2_3	3
	PMT_3_0	4
	PMT_3_1	5
	PMT_3_2	6
	PMT_3_3	7

#### 4.4.2 Bajo Voltaje

En cada uno de los sub-detectores ADC y ADA, los preamplificadores PASA (*Pre-Amplifier Shaper*) son alimentados con tres canales de bajo voltaje: una fuente de +6 V y dos fuentes de -5V. Al igual que en el caso del alto voltaje, se utiliza la fuente de poder multicanal universal CAEN modelo SY1527, a la cual se le inserta una tarjeta CAEN modelo A1513B en la ranura 8, véase la figura 17. Esta tarjeta posee 6 salidas de bajo voltaje (con polaridad reversible) y un rango de voltaje de salida de 0 a 10 V (con un máximo de 2.7 A de salida) [97].



Figura 17. Tarjeta de bajo voltaje A1513B de la marca CAEN

Los canales individuales del subsistema de bajo voltaje (LV) tiene la nomenclatura LV\_X\_Y, donde X se refiere al sub-detector (A para ADA y C para ADC) e Y es el número de canal de alimentación (1 es para la fuente de +6V, y 2-3 para las fuentes de -5V). La nomenclatura de los canales individuales de bajo voltaje para el detector AD se muestra en la tabla IV.

Tabla IV. Configuración de los canales de bajo voltaje en el detector AD

Nomenclatura del canal de alimentación	Sub-detector	Canal de la fuente	Voltaje
LV_A_1	ADA	0	+6 V
LV_A_2		1	-5 V
LV_A_3		2	-5 V
LV_C_1	ADC	3	+6 V
LV_C_2		4	-5 V
LV_C_3		5	-5 V

#### 4.4.3 Electrónica de Lectura (FEE)

El diseño de la electrónica de lectura (FEE, Front-End Electronics) del detector AD fue desarrollado originalmente para otro detector de ALICE (V0), su diagrama a bloques general, así como algunos otros componentes de la cadena de adquisición de datos de AD se muestran en la figura 18. De acuerdo con esta figura, los dispositivos fotomultiplicadores (PM) colectan la luz proveniente de cada uno de los módulos de los sub-detectores. Las señales eléctricas producidas por los PMTs son enviadas a los preamplificadores PASA, los cuales entregan dos señales diferentes por cada PMT. La primera de ellas se envía a un discriminador para la generación de la señal de disparo LO [3], y enseguida es amplificada por un factor de 10. La segunda señal, no es amplificada, sino que es usada para medir la carga generada por los PMTs, la cual es proporcional a la energía de las partículas incidentes en los plásticos [69, 98].

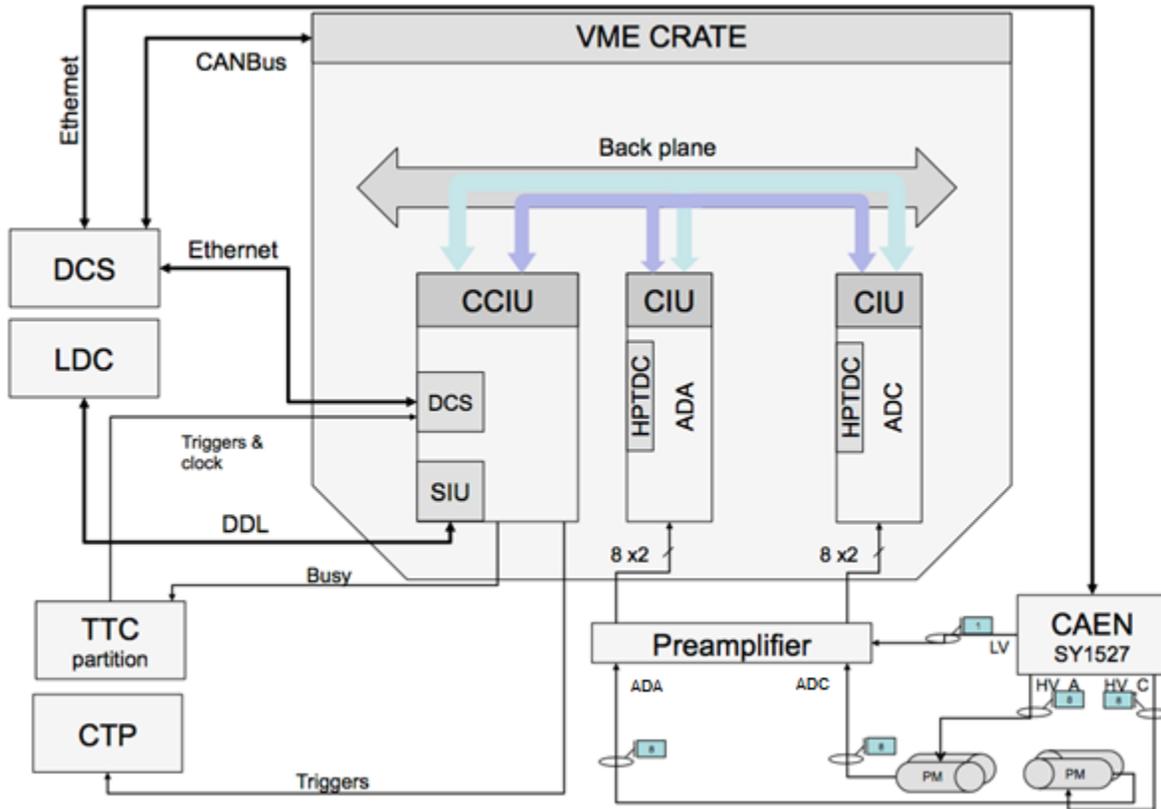


Figura 18. Diagrama a bloques de la electrónica del detector ADA/ADC

La electrónica en AD para ambos sub-detectores (ADA y ADC) está localizada en un *crate* VME de la compañía *Wiener* [99], que es usado como estructura metálica con la capacidad de interconectar módulos electrónicos que se insertan en las ranuras del *crate*, así como sus fuentes de alimentación. Este *crate* y los preamplificadores se encuentran en una zona alejada de los detectores y PMTs, a unos 25 m de ellos. En el *crate* se insertan dos tipos de tarjetas [69]:

- Tarjeta Unidad de Interfase de Canal (CIU, *Channel Interface Unit*): Cuantifica la carga y digitaliza el tiempo de 8 canales. Por lo tanto, se requieren 2 tarjetas de este tipo para la adquisición de los 16 canales del detector AD.
- Tarjeta Unidad de Interfase Concentradora de Canal (CCIU, *Channel Concentrator Interface Unit*): Esta realiza la recolección de datos de las 2 tarjetas CIU y proporciona interfaces con los sistemas que permiten integrar AD a los sistemas centrales de ALICE para: la adquisición (DAQ), control del sistema (DCS), reloj (BC) y sistemas de disparo (CTP).

Adicionalmente la tarjeta CIU realiza las siguientes tareas:

- 1) Mide la amplitud de la señal (carga)
- 2) Digitaliza el tiempo de vuelo de las partículas desde el punto de interacción hasta los módulos centelladores de AD
- 3) Pre-procesa la generación de varias señales de disparo (*triggers*)
- 4) Almacena los datos generados entre las señales de disparo (*triggers*) L0 y L1

Los principales componentes del CIU son: a) un amplificador discriminador ultra rápido (NINO), y b) un convertidor de tiempo a cuentas digitales de alta precisión HPTDC (*High Performance Time to Digital Converter*).

Asimismo, la tarjeta CCIU también efectúa las siguientes actividades:

- 1) Procesa la señal de disparo definitiva
- 2) Colecta y organiza los datos de las tarjetas CIU
- 3) Proporciona la interfase al DAQ, DCS y CTP de AD

# Capítulo 5

## Modelado de Sistemas

### 5.1 Introducción al Proceso Unificado Racional

El modelado de sistemas consiste en crear representaciones de modelos abstractos de un sistema, donde un diagrama o tabla representa una perspectiva diferente del mismo. Los modelos permiten: 1) conocer los requerimientos del sistema (en este caso un software para el control de un detector para estudios HEP), y 2) generar una abstracción del sistema para simplificar y compilar sus características más importantes.

Este trabajo propone el uso del proceso de modelado denominado Proceso Unificado Racional (RUP, *Rational Unified Process*), que es un lenguaje orientado a casos, centrado en la arquitectura, iterativo e incremental. El RUP presenta una visión de un proceso desde tres perspectivas [23]:

- a) *Dinámica*: muestra las fases del proceso a lo largo del tiempo.
- b) *Estática*: presenta las actividades del proceso que se establecen.
- c) *Práctica*: sugiere buenas prácticas a utilizar durante el proceso.

El Proceso Unificado se repite a lo largo de una serie de ciclos, donde cada ciclo constituye una versión del sistema [22-27]. Un ciclo en RUP consta de cuatro fases discretas en los procesos de software, que son: *concepción, elaboración, construcción y transición*.

Cada fase puede presentarse iterativamente con la entrega incremental de resultados. Una iteración es un conjunto de disciplinas o flujos de trabajo desarrollados, entre los que destacan: *requisitos, análisis, diseño, codificación y pruebas*. De forma similar en RUP, la descripción del flujo

de trabajo está orientada a modelos UML asociados, tales como: caso de uso, secuencia, análisis, diseño, etc. [26, 100].

## 5.2 Diagramas UML

RUP es una metodología orientada a objetos se describe utilizando las 4 + 1 vistas de Krutchen utilizando modelos y diagramas de diferentes perspectivas [101]. RUP está directamente relacionada con el uso de diagramas UML, que se ha convertido en el lenguaje de modelado estándar para el modelado orientado a objetos [22-27, 100].

Los modelos proporcionan una visión de los requisitos del sistema, en este caso un sistema de control de un detector para un experimento de física de altas energías (HEP) [21]. Otra característica de los modelos es que pueden generar una abstracción para simplificar y recoger las características más importantes de un sistema.

Aunque UML tiene un gran número de tipos de diagramas y, por lo tanto, muchos tipos de modelos de sistemas, los estudios han demostrado que sólo cinco diagramas UML son suficientes para representar lo esencial de un sistema. Por lo tanto, es necesario un equilibrio entre la eficiencia y la complejidad con respecto al número de diagramas UML por parte del diseñador del sistema. Esta propuesta presenta cinco diagramas UML que contienen los elementos esenciales del desarrollo del modelo del sistema como son [23]:

- 1) *Diagrama de contexto*
- 2) *Diagrama de casos de uso*
- 3) *Diagramas de actividades*
- 4) *Diagrama de secuencia*
- 5) *Diagrama de clase*

Adicionalmente, también se utilizan los diagramas de árbol en la definición de la jerarquía de los nodos de las máquinas de estado finitas (FSMs) del detector.

### 5.2.1 Diagrama de Contexto

Un diagrama de contexto es una representación arquitectónica simple de las interacciones existentes entre un sistema de información y las entidades externas con las que puede interactuar. Igualmente, los diagramas de contexto presentan una visión general del sistema, sin mostrar detalles de su estructura interna, y donde se definen los límites entre el sistema (o parte del mismo) y su ambiente.

## 5.2.2 Diagrama de Caso de Uso

El modelado de casos de uso se utiliza ampliamente en la adquisición de requerimientos. De manera general, un caso de uso muestra un escenario genérico que describe lo que el usuario requiere del sistema [21-25]. El modelado de casos de uso debe incluir preferentemente un diagrama y una descripción tabular del mismo.

### 5.2.2.1 Diagrama simple de caso de uso

Los diagramas básicos de los casos de uso contienen unos cuantos símbolos, como son: actor, conector y el óvalo de las cajas de uso (véase la tabla V). Un actor representa a los participantes de los casos de uso. Cabe mencionar que los actores pueden ser personas o cosas. Si el actor es una persona, no se podrá representar por medio de código. Caso contrario, si el actor es un subsistema, podrá modelarse su funcionamiento como una clase o subprograma [23]. El símbolo de la caja de uso permite representar las capacidades requeridas del sistema. Cada caja de uso contiene un nombre que describe brevemente estos requerimientos. Finalmente, los conectores vinculan a los actores con la interacción. De manera opcional se agregan puntas de flecha a las líneas para mostrar cómo se inicia la interacción.

Tabla V. Símbolos básicos de los diagramas de caso de uso

	<i>Actor</i>		<i>Conector</i>		<i>Caja de Uso</i>
---	--------------	---	-----------------	--	--------------------

### 5.2.2.2 Descripción tabular de los casos de uso

La descripción tabular retoma los casos de uso particulares que son descritos en los diagramas de casos. Estas descripciones tabulares incluyen aspectos como:

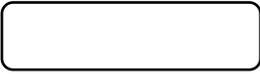
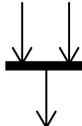
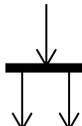
- *Actores*: nombre de quiénes intervienen en el caso de uso.
- *Descripción*: Relato que describe brevemente en qué consiste el caso de uso, y de cómo los actores usarán los datos que son requeridos.
- *Datos*: Información que requieren los actores para realizar un proceso.
- *Estímulo*: Acción interna o externa que define el inicio de un proceso.
- *Respuesta*: Define la manera en cómo debe responder el sistema conforme al estímulo proporcionado.
- *Comentarios*: Anotaciones u observaciones importantes referente a las particularidades de cada caso y/o los elementos que intervienen.

### 5.2.3 Diagrama de Actividades

Los diagramas de actividades son muy parecidos a los diagramas de flujo ordinarios. Estos describen de forma visual la secuencia de acciones que conducen a la culminación de una tarea representada por los casos de uso [22-25]. Conceptualmente, el diagrama de actividades muestra cómo fluye el control de una clase a otra, con la finalidad de culminar con un flujo de control total, que corresponde a la consecución de un proceso más complejo (véase la tabla VI).

Otro de los símbolos importantes es el denominado *nota*, el cual permite a los diseñadores del diagrama comunicar mensajes adicionales que no se pueden representar en el diagrama de actividades [24-25].

Tabla VI. Símbolos más representativos de los diagramas de actividades UML

Nombre del Símbolo	Símbolo	Descripción
<i>Inicio</i>		El inicio de un diagrama de actividades es con un círculo relleno.
<i>Fin</i>		El fin se indica con un círculo relleno dentro de otro círculo.
<i>Acción</i>		Los símbolos de rectángulos con esquinas redondeadas representan actividades o una acción, y son los componentes principales de los diagramas de actividades.
<i>Decisión</i>		Este símbolo genera alternativas, cada una con la condición de que debe cumplirse para realizar dicha transición. Representa que las acciones se pueden dividir en caminos alternos mediante el uso de este nodo.
<i>Fusión</i>		Representa múltiples símbolos entrando y solamente uno saliendo. Hace converger actividades concurrentes en un flujo donde solamente se tiene una actividad a la vez. El nodo de fusión no tiene salida hasta que todos los flujos han llegado al mismo.
<i>Bifurcación</i>		El símbolo de división o bifurcación está representado con múltiples líneas con flechas desde la unión. Divide el flujo de una actividad individual en dos actividades concurrentes.

#### 5.2.4 Diagrama de Secuencia

Los diagramas de secuencia en UML son usados principalmente para modelar las relaciones entre los actores y los objetos en un sistema a lo largo del tiempo, así como las interacciones entre los objetos [22-27]. Un diagrama de secuencia muestra la sucesión de intercambio de información e instrucciones que ocurre durante un caso de uso particular o una instancia de caso de uso. Este diagrama consta de: actores, objetos, mensajes entre estos objetos y una línea de vida del objeto representada por una línea vertical. Los objetos y los actores que intervienen se mencionan a lo largo de la parte superior del diagrama, con una línea punteada que se dibuja verticalmente a partir de éstos.

Una línea de vida es un rectángulo con una recta vertical que desciende de ese rectángulo. La línea de vida representa un ejemplo de una clase, y la línea que desciende en forma vertical es un lugar donde se colocan los mensajes entrantes y salientes. Las líneas de vida de objetos pueden representar actores y objetos. En la parte superior aparecen los objetos que intervienen. Otros aspectos importantes de los diagramas de secuencia son:

- La dimensión temporal se indica verticalmente (el tiempo transcurre hacia abajo).
- Las líneas verticales indican el periodo de vida de cada objeto.
- El paso de mensajes se indica con flechas horizontales u oblicuas (cuando existe demora entre el envío y la atención del mensaje).
- La realización de una acción se indica con rectángulos sobre las líneas de actividad del objeto que realiza la acción.

Los mensajes que son intercambiados entre los objetos de un diagrama de secuencia pueden ser síncronos o asíncronos. Los mensajes asíncronos son aquellos tales que, el emisor puede enviar nuevos mensajes a pesar de que un mensaje previo pudiera estar siendo procesado. El mensaje asíncrono ocurre en el tiempo de manera independiente a otros mensajes. Los mensajes síncronos son todo lo contrario, el emisor debe esperar a que termine el tiempo de procesamiento del mensaje previo antes de que se puedan emitir nuevos mensajes [23].

### 5.2.5 Diagrama de Clases

Una *clase* es la unidad básica que encapsula toda la información de un objeto (instancia de una clase). Por medio de las clases es posible modelar el entorno y comportamiento de elementos físicos o no físicos. Los diagramas de clase UML permiten desarrollar un modelo de sistema orientado a objetos para definir las clases de un sistema, así como las asociaciones entre dichas clases. Este tipo de diagramas son de tipo *estático* debido a que no describen una acción. UML permite describir términos como: asociación, composición, agregación, generalización y realización; con el objetivo de comprender y comunicar las relaciones entre los elementos que intervienen en un sistema, por medio del uso de diagramas de clases [100-103].

El rectángulo en un diagrama de clases se llama *clasificador*, el cual indica el nombre de la clase y el nombre de un ejemplo de esa clase, denominado *objeto*. Las clases incluyen generalmente

atributos (características) y comportamientos. Un atributo es una cualidad que se adjudica o distingue a una clase. Los comportamientos se consideran operaciones o métodos. Las clases pueden ser privadas (*private*), protegidas (*protected*) o públicas (*public*). La figura 19 muestra una descripción visual de una clase aplicando modelado UML.

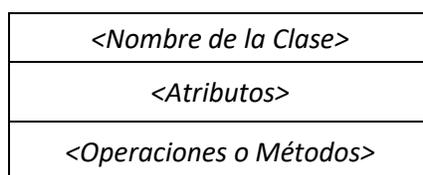


Figura 19. Descripción visual de la representación de una clase en UML

## 5.2.6 Diagramas de Estado

Los diagramas de estado están conformados por estados y eventos (acciones), los cuales permiten mostrar las transiciones de estado de un sistema, dependiendo de los comandos recibidos o eventos ocurridos, y las configuraciones en cada estado.

A pesar de que UML soporta su propio modelado basado en eventos usando diagramas de estado, para el desarrollo de los diagramas de estado de este sistema de control se utilizó el estándar definido en CERN [6].

## 5.2.7 Requerimientos

### 5.2.7.1 Requerimientos Funcionales (RF)

Los requerimientos funcionales de un sistema se refieren a lo que el sistema debe realizar. Los requerimientos funcionales varían desde requerimientos generales que describen lo que tiene que hacer el sistema que se está desarrollando, hasta requerimientos muy específicos del mismo.

Los requerimientos funcionales son descritos en forma de enunciados referentes a los servicios que el sistema debe proveer, y cómo debe reaccionar ante determinadas entradas o eventos [23]. Incluso pueden explicar qué no debe hacer el sistema.

### 5.2.7.2 Requerimientos No Funcionales (RNF)

Los requerimientos no funcionales se aplican al sistema como un todo, más que a características o a servicios individuales que el sistema entrega a sus usuarios. También pueden definir restricciones sobre la implementación del sistema, capacidades de los dispositivos de entrada y salida o las representaciones de los datos usados en las interfaces con otros sistemas [23]. Estos requerimientos están relacionados, por ejemplo, a variables como pueden ser: seguridad, tiempo de respuesta, disponibilidad, resolución de disturbios menores en tiempo real, entre otros. En muchas situaciones, los requerimientos no funcionales son más significativos que los requerimientos funcionales. El hecho de no cubrir con las expectativas de los requerimientos no funcionales podría repercutir en que todo el sistema sea inservible.

## 5.3 Metodología para el Desarrollo de un Sistema de Control de un Detector

Este apartado presenta el desarrollo de una metodología para modelar los procesos de diseño y operación de un software de control requerido para un detector en el experimento ALICE en el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) aplicando técnicas de ingeniería de software. Esta propuesta utiliza el Proceso Unificado Racional (RUP) para modelar un sistema de control de un detector considerando los flujos de trabajo: *requisitos, análisis, codificación y pruebas* para todas las fases de este modelo.

En primer lugar, se presenta un diagrama de contexto general del DCS central de ALICE, en donde se describen brevemente los aspectos principales que intervienen en el control del experimento. Posteriormente, se presentan los resultados de los flujos de trabajo RUP, tales como: *análisis de requerimientos, modelo de análisis, y modelo de diseño*.

### 5.3.1 Diagrama de Contexto General del DCS

La arquitectura del DCS de ALICE está basada en los estándares adoptados por los experimentos del LHC en CERN, como es el Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) denominado WinCC-OA®, extendido en sus capacidades por los *frameworks* de software desarrollados en CERN como son: JCOP y ALICE. De igual forma, las interacciones entre el

sistema de control (DCS) y de disparo (TRG), el sistema de adquisición (DAQ), y el HLT son sincronizadas por el sistema de control del experimento (ECS). La figura 20 muestra el diagrama de contexto de la arquitectura general del DCS de ALICE [60].

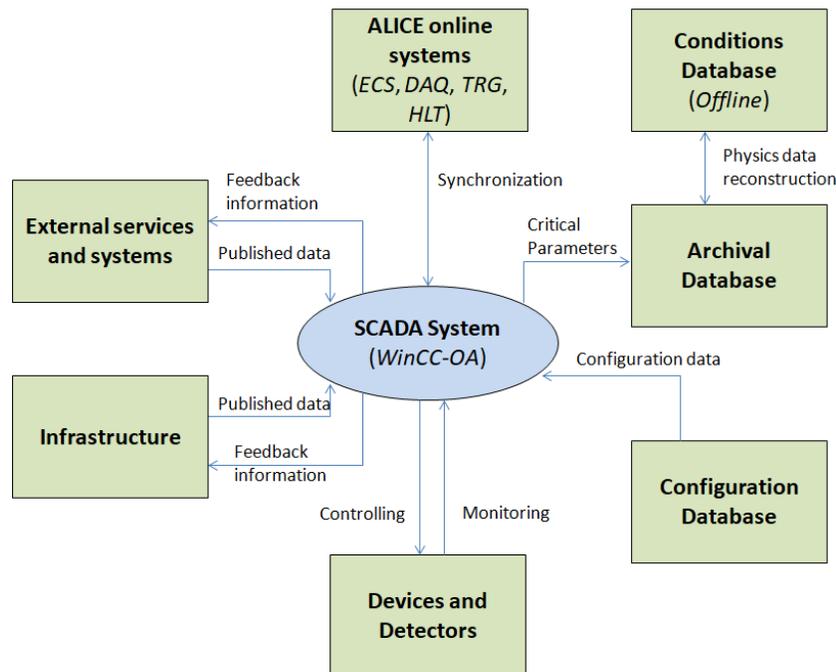


Figura 20. Diagrama de contexto de la arquitectura del DCS central de ALICE

Durante la operación normal, el DCS interactúa con muchos sistemas, tanto internos como externos a ALICE. El DCS recibe información de servicios externos como: LHC, control del magneto, enfriamiento, ventilación, y electricidad; e igualmente proporciona retroalimentación a los mismos.

Además, el DCS permite maximizar el número de canales operativo de lectura en cualquier momento, medir y almacenar todos los parámetros necesarios para un análisis eficiente de los datos físicos. El DCS controla y monitorea los dispositivos del detector, proporciona los datos de configuración de la *base de datos de configuración*; de igual forma, almacena en la *base de datos archival* los valores de los parámetros que determinan las condiciones de operación de elementos de hardware seleccionados. Los parámetros críticos necesarios para la reconstrucción de los datos físicos son extraídos de la *base de datos archival*, y son enviados a la *base de datos de condiciones fuera de línea (offline)* al inicio y al término de cada corrida.

### 5.3.2 Análisis de Requerimientos

La especificación de requisitos del modelo de procesos RUP se define como la documentación de los requerimientos que necesita un sistema de software desde el punto de vista de los principales actores, y utiliza generalmente un lenguaje de notación matemática o de modelado [26, 100]. Para ello se ha seleccionado una técnica de análisis de ingeniería de software llamada *casos de uso*. En general, un caso de uso muestra un escenario genérico que describe lo que el usuario requiere del sistema [21-27]. El modelado de casos de uso debe incluir preferiblemente un diagrama y una descripción tabular. A continuación, se presentan los principales actores (partes interesadas), objetivo y justificación del análisis de requisitos del sistema de control de detectores. Posteriormente, se describen las características, requerimientos funcionales y no funcionales, y finalmente el diagrama y listado de casos de uso para cada actor.

#### 5.3.2.1 Actores

El análisis de los requerimientos del sistema de control se realiza en base a los tres interesados principales que son:

1. Experto en el Detector (ED)
2. Experto en el DCS Central de ALICE (EDCSC)
3. Operador en el DCS Central de ALICE (ODCSC)

Cabe mencionar que los actores pueden ser personas o subsistemas (software, módulos, ALICE Logbook, navegador web, etc.).

#### 5.3.2.2 Objetivo y Justificación

■ **Objetivo:**

“Diseñar una metodología orientada al diseño, desarrollo y operación del software SCADA WinCC-OA® de un detector del experimento ALICE para la corrida 2 del LHC aplicando técnicas de Ingeniería de Software.”

■ **Justificación:**

- La instalación y puesta en marcha de nuevos detectores en experimentos de Físicas de Altas Energías (HEP) implica la necesidad del desarrollo e integración del Sistema de Control del Detector (DCS) en el sistema de control central de ALICE.
- La definición de una metodología en el proceso de desarrollo del DCS para un nuevo detector aplicando técnicas de Ingeniería de Software tendría las siguientes ventajas:
  - a. Definir a los interesados que intervienen en este proceso de desarrollo del software de control, así como la descripción de las características generales de los mismos.
  - b. Determinar los requerimientos funcionales y no funcionales aplicando diagramas y tablas de casos de uso, así como la especificación de los mismos por medio de diagramas de actividades.
  - c. Definir de forma estandarizada los procesos de *estructuras estáticas* aplicando diagramas de clase, y de *estructuras dinámicas* utilizando diagramas de secuencia en donde intervienen los principales interesados.
  - d. Modelar el comportamiento de los nodos de una arquitectura de software de un detector, especificando las secuencias de estados y su respuesta a determinados eventos, aplicando máquinas de estados finitos.

### **5.3.2.3 Interesado – Experto en el Detector (ED)**

#### **5.3.2.3.1 Características Generales (ED)**

- Interviene en los procesos de diseño, puesta en marcha y mantenimiento del sistema de control del nuevo detector.
- Restablece las funciones normales del detector en caso de algún disturbio o condiciones no deseadas en el mismo.
- Atiende las consultas o requerimientos del personal del Centro de Control de Corridas (RCC) de ALICE.
- Integra las recomendaciones y/o actualizaciones del sistema que el personal del DCS central considere necesario

### 5.3.2.3.2 Requerimientos Funcionales (RF-ED)

- RF-ED1:

Los subsistemas de control del detector pueden ser: bajo voltaje (LV), alto voltaje (HV), módulos de la electrónica de frontera final (FEE), enfriamiento, gas, entre otras; conforme a las especificaciones y requerimientos técnicos de cada detector en particular.

- RF-ED2:

Permite monitorear, controlar y/o configurar los elementos del detector mediante interfaces de usuario, conforme a las especificaciones normativas y requerimientos del detector.

- RF-ED3:

Almacena valores de parámetros relevantes de diferentes subsistemas para su posterior análisis, los cuales serán enviados a la base de datos fuera de línea para condiciones (OCDB).

- RF-ED4:

El DCS debe proporcionar un registro cronológico (*log*) de comandos, eventos, alarmas y acciones, para permitir a los usuarios reconstruir eventos relevantes dentro del experimento o detector.

- RF-ED5:

Modela el comportamiento de las diferentes unidades (control, lógico o dispositivo), que integran la arquitectura de software del detector, como máquinas de estados de finitos (FSMs).

- RF-ED6:

Genera y despliega señales de alarmas para determinados parámetros o subsistemas, mediante la configuración de los rangos no permitidos o estados no deseados; así como los niveles de severidad correspondientes y datos adicionales generados en cada alarma.

- RF-ED7:

Auxilia a los usuarios del DCS en caso de que se haya generado una alarma que requiera la intervención del mismo, haciendo uso de instrucciones de ayuda de alarmas (*alarm help*) dependiendo del nivel de severidad.

- RF-ED8:

Opera de acuerdo con las condiciones de seguridad del detector establecidas por el personal del DCS central de ALICE, como son: SAFE/SUPERSAFE, operaciones con haz o magneto (*Magnet Safe*), entre otras.

- RF-ED9:

Autentifica el acceso de los usuarios autorizados al sistema DCS y habilita las funcionalidades definidas de los mismo de acuerdo con roles predefinidos.

- RF-ED10:

Grafica el comportamiento de parámetros relevantes y/o críticos en función del tiempo y almacena sus valores históricos, como gráficas x-y, despliegue de tendencias y hojas de cálculo de aplicaciones.

- RF-ED11:

Almacena los datos necesarios para la configuración del propio sistema de control, configuración de los dispositivos de hardware (fuentes de alimentación, circuitos integrados de la FEE), configuración de procesos, etc., usando una base de datos de configuración.

- RF-ED12:

El sistema de control se encuentra integrado y configurado para operar al detector en los diferentes tipos de corridas en ALICE, como son: físicas, cósmicas, técnicas, *pedestals*, e individuales (*standalone*), principalmente.

- RF-ED13:

El sistema de control del detector será accedido, modificado u actualizado internamente desde la red CERN o bien fuera de la misma de manera remota (multi-locación).

- RF-ED14:

Excluir cualquier nodo de la jerarquía o subsistema en caso necesario, previa autorización del personal responsable en el ALICE RCC.

### **5.3.2.3.3 Requerimientos No Funcionales (RNF-ED)**

- RNF-ED1

Define el diseño de una arquitectura jerárquica tipo árbol, en donde los nodos del mismo representan componentes lógicos y físicos del detector.

- RNF-ED2:

Recibe y despliega información de los sistemas internos y externos (LHC, magneto, sistemas de enfriamiento, ventilación, electricidad, entre otros) en tiempo real.

#### 5.3.2.3.4 Listado de Casos de Uso (ED)

En seguida, la figura 21 muestra el diagrama de casos de uso en donde se involucra al experto en el detector.

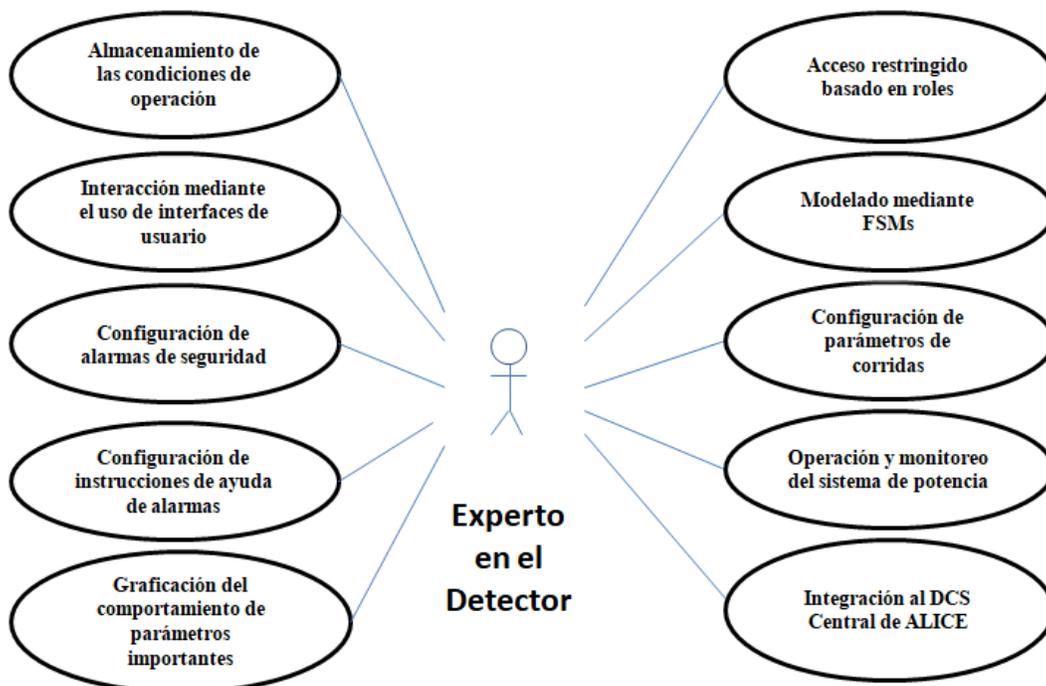


Figura 21. Elementos que componen el diagrama de casos uso del experto en el detector

Listado de los diferentes casos de uso del experto en el detector:

- 1.- Almacenamiento de los parámetros que determinan las condiciones de operación
- 2.- Interacción mediante el uso de interfaces de usuario
- 3.- Configuración de alarmas de seguridad
- 4.- Configuración de instrucciones de ayuda de alarmas

- 5.- Graficación del comportamiento de parámetros importantes
- 6.- Acceso restringido basado en roles
- 7.- Modelado mediante FSMs
- 8.- Configuración de parámetros de corridas
- 9.- Operación y monitoreo del sistema de potencia
- 10.- Integración al DCS central de ALICE

#### **5.3.2.4 Interesado – Experto en el DCS Central de ALICE (EDCSC)**

##### **5.3.2.4.1 Características Generales (EDCSC)**

- Supervisa que los sistemas y subsistemas del DCS de todos los detectores, que integran el experimento ALICE, funcionen correctamente.
- Permanece en guardia en caso de que se presente algún disturbio o condiciones no deseadas en el DCS central, o cuando el personal operador en turno del ALICE RCC lo requiera.
- Capacita a los miembros de ALICE que deseen colaborar como operadores del DCS central en el RCC de ALICE.
- Brinda seguimiento, capacitación y asesoría en los procesos de migración de software y actualización de los sistemas de control de los detectores de ALICE.

##### **5.3.2.4.2 Requerimientos Funcionales (RF-EDCSC)**

###### ○ RF-EDCSC1:

Las versiones del software SCADA WinCC-OA, así como los *frameworks* de JCOP y ALICE deben estar migradas y/o actualizadas conforme a los requerimientos, normatividad y fechas especificadas por la Coordinación de Controles de ALICE (ACC).

###### ○ RF-EDCSC2:

Las condiciones de SAFE/SUPERSAFE definidas en el sistema de control central para operar al experimento ALICE, detectores y subsistemas cuando existe inyección de haz o transiciones de magneto, deberán funcionar correctamente.

- RF-EDCSC3:

El sistema permitirá visualizar las interfaces de usuario en las pantallas de los operadores y expertos del DCS central de ALICE.

- RF-EDCSC4:

Las transiciones entre estados y envíos de comandos establecidas mediante FSMs o procedimientos embebidos en el sistema de control del detector, deberán de realizarse correctamente en conjunto con los demás sistemas existentes, como son: ECS, DAQ y DQM.

- RF-EDCSC5:

Se realiza un correcto almacenamiento de las condiciones de operación seleccionadas en el DCS del detector, que son enviados primeramente a la *base de datos archival*, y posteriormente a la OCDB.

- RF-EDCSC6:

Los elementos de hardware serán accesibles a través de servidores OPC [OLE (*Object Linking and Embedding*) for Process Control]; en su defecto usarán la tecnología del servidor FED (*Front-End Device*) para dispositivos que carecen del soporte OPC brindado por los fabricantes.

### 5.3.2.4.3 Requerimientos No Funcionales (RNF-EDCSC)

- RNF-EDCSC1:

El diseño del sistema DCS estará basado en una aproximación jerárquica, en donde las diferentes partes del sistema se encuentran segmentadas en subsistemas, con las mismas funcionalidades.

- RNF-EDCSC2:

El sistema de control del detector podrá excluir algún subsistema en caso de que presente un problema, y eventualmente seguir funcionando adecuadamente dentro de los requerimientos establecidos.

- RNF-EDCSC3:

Las interfaces de usuario del DCS de cada detector deberán ser intuitivas, fáciles de operar y apegadas a los estándares de ALICE.

- RNF-EDCSC4:

El DCS deberá actuar autónomamente, asegurando que el sistema de control de cada detector sea independiente del resto de los demás detectores de ALICE.

#### 5.3.2.4.4 Listado de Casos de Uso (EDCSC)

En seguida el diagrama de casos de uso en los que interviene el experto en el DCS central, véase la figura 22.

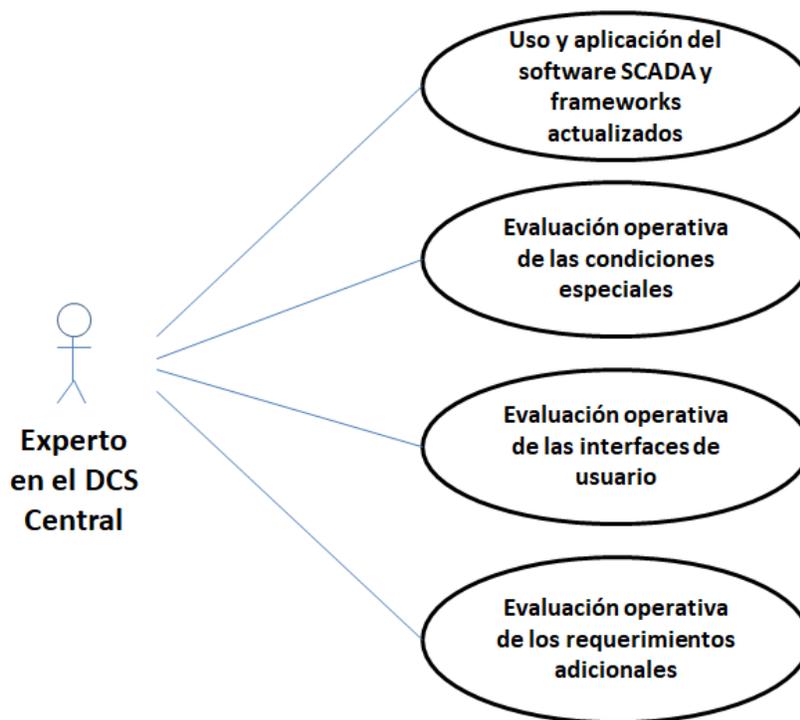


Figura 22. Elementos que componen el diagrama de casos uso del experto en el DCS central de ALICE

Listado de los casos de uso del experto en el DCS central de ALICE:

- 1.- Uso y aplicación del software SCADA y frameworks actualizados
- 2.- Evaluación operativa de las condiciones especiales
- 3.- Evaluación operativa de las interfaces de usuario
- 4.- Evaluación operativa de los requerimientos adicionales

### 5.3.2.5 Interesado – Operador en el DCS Central (ODCSC)

#### 5.3.2.5.1 Características Generales (ODCSC)

- Opera y controla el sistema de control (DCS) del experimento ALICE, y todos sus detectores y subsistemas durante un turno en el ALICE Run Control Center.
- Aplica una serie de herramientas básicas como son:
  - Interfaz de Usuario (UI) del DCS – Interfaz principal entre el operador y el DCS
  - Pantalla de Alertas y Errores (AES, *Alert and Error Screen*)
  - Logbook del operador del DCS
  - Logbook de ALICE
  - Navegador web con repositorio de documentos compartidos del DCS
- Revisa continuamente los mensajes con niveles de severidad *Error* y *Fatal* en la pantalla AES, y los atiende con el objetivo de restaurar la operación normal de ese detector o subsistema correspondiente.
- Establece las condiciones de SAFE/SUPERSAFE en el experimento ALICE, en un conjunto de detectores o en un solo detector utilizando un panel especial. Esta operación se realiza previa autorización del líder de turno (SL, Shift Leader).
- Reacciona a las solicitudes del LHC, haciendo uso de herramientas y mecanismos para asegurar una comunicación y operación sincronizada del detector ALICE con el acelerador LHC (*Handshake*).
- Utiliza la condición de *Magnet Safe* para establecer un estado deseado de los subsistemas de los detectores, cuando existe una transición planeada ascendente/descendente (*ramp up/down*) de la corriente de los magnetos.
- Monitorea continuamente la pantalla general del DCS (*DCS Big Screen*).
- Podría ser asignado como SLIMOS del turno en el ALICE RCC. Por lo que tendría la responsabilidad de monitorear continuamente las pantallas relacionadas con la información de seguridad.

- Entrega un reporte de actividades e incidencias al final del turno.
- Habilita/deshabilita los candados FSM para tomar o liberar el control de un detector o nodo del mismo, a solicitud del líder de turno.
- Incluye/excluye parcial o totalmente uno o más detectores o subsistemas del experimento, con la aprobación del líder de turno (SL).

#### **5.3.2.5.2 Requisitos Funcionales (RF-ODCSC)**

- RF-ODCSC1:

Visualización de alertas del detector en el panel AES e instrucciones exactas para restablecimiento operativo del detector.

- RF-ODCSC2:

Operación jerárquica del sistema de control usando las FSM para definir el comportamiento y estado de cada sub-detector.

- RF-ODCSC3:

Las interfaces de usuario del sistema de control del detector deben ser visibles, así como permitir su interacción directa en caso necesario.

- RF-ODCSC4:

Definición del estado del detector para las condiciones especiales de SAFE/SUPERSAFE y *Magnet Safe* (en caso necesario), de acuerdo con los requerimientos del mismo.

- RF-ODCSC5:

Sincronización del estado de los detectores con la operación del acelerador LHC durante sus diferentes etapas (inyección de haz, incremento de la energía del haz, haces estables, etc.).

- RF-ODCSC6:

Monitoreo y control de las condiciones de seguridad y ambientales tales como fugas de gas o líquidos, niveles de radiación, incendio, ventilación, temperatura, niveles de oxígeno, etc.).

#### **5.3.2.5.3 Requisitos No Funcionales (RNF-ODCSC)**

- RNF-ODCSC1:

Los estados y comandos de cada entidad (nodo) del detector deben ser normalizados conforme a las especificaciones de ALICE y las necesidades particulares de cada detector.

- RNF-ODCSC2:

Las instrucciones de ayuda de alarma deberán de ser escritas lo más clara y precisamente posible, de manera que no se requiera la presencia del responsable del detector en caso de un problema con alguna alerta.

#### 5.3.2.5.4 Listado de Casos de Uso (ODCSC)

Consecuentemente en la figura 23 se define un diagrama de los casos de uso en donde interviene el operador en el DCS central de ALICE.

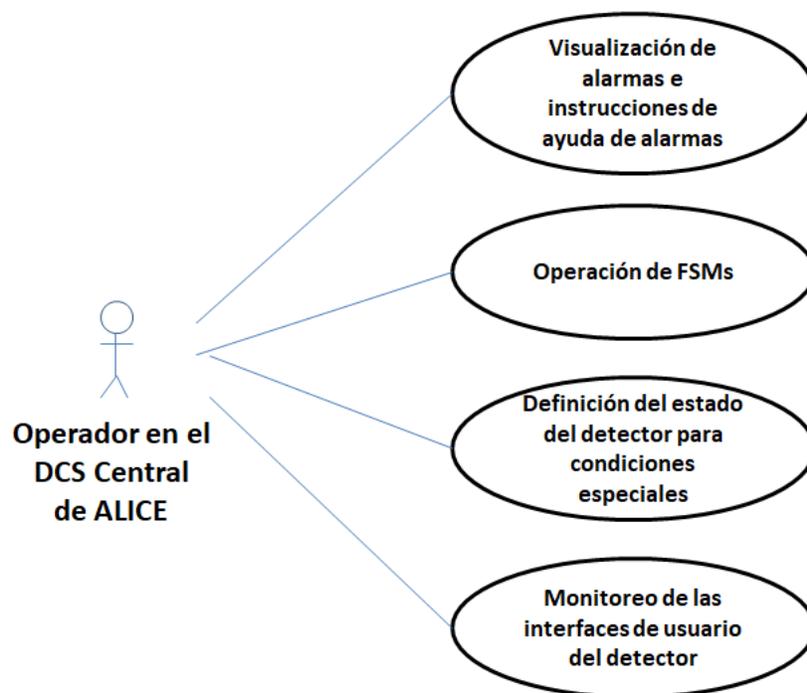


Figura 23. Elementos que componen el diagrama de casos uso del operador en el DCS central de ALICE

Listado de los casos de uso del experto en el DCS central de ALICE:

1.- Visualización de alarmas e instrucciones de ayuda de alarmas

2.- Operación de FSMs

3.- Definición del estado del detector para condiciones especiales

4.- Monitoreo de las interfaces de usuario del detector

Cabe mencionar que en el apéndice A de este trabajo se muestran las descripciones de los casos de uso tabular para los diferentes actores involucrados.

### **5.3.3 Modelo de Análisis**

El modelo de análisis permite describir de una manera refinada, estructurada y profunda, los requisitos definidos en la captura de requisitos previamente analizados. También permite el uso de un lenguaje más formal para especificar los requisitos del sistema y presenta un estudio inicial del sistema como un todo incluyendo su arquitectura. En el modelo de análisis se utilizan diagramas de actividades, que son muy similares a los diagramas de flujo ordinarios. Los *diagramas de actividades* permiten mostrar las acciones que se incluyen en un proceso del sistema, así como el control de flujo de una actividad a otra [22 - 27, 30]. Conceptualmente, un diagrama de actividad muestra cómo el control fluye de una clase a otra para completar un flujo de control total correspondiente a un proceso complejo. Debido a la importancia de este tipo de diagramas UML, se diseñaron los *diagramas de actividades* de los casos de uso presentados en la sección anterior para los tres actores, los cuales se muestran en el apéndice B.

### **5.3.4 Modelo de Diseño**

El modelo de diseño es un modelo físico que contribuye a una arquitectura estable y sólida, así como a crear un modelo de implementación. Además de los modelos de diseño, los casos de uso son realizados mediante las clases de diseño y sus objetos. Una clase de diseño es una abstracción de una clase o construcción similar en la implementación del sistema.

#### **5.3.4.1 Arquitectura de diseño**

La arquitectura de diseño define cómo se estructura un sistema y tiene un impacto directo en la capacidad del sistema para alcanzar sus objetivos. La Figura 24 muestra el diagrama UML para

la arquitectura de software del sistema de control de un sub-detector del experimento ALICE desde una perspectiva física.

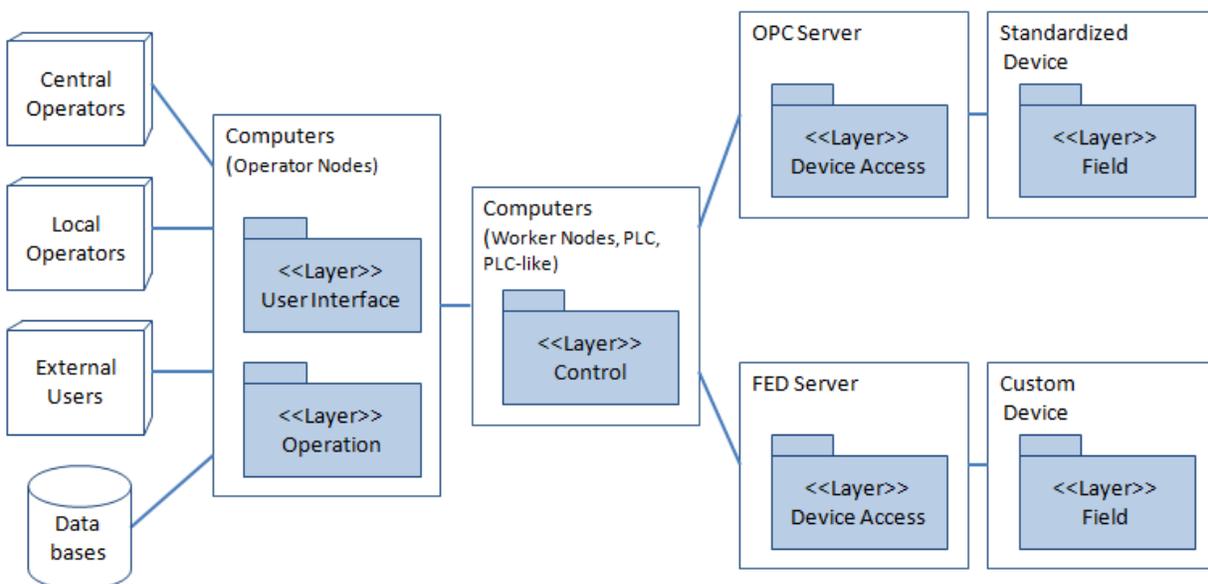


Figura 24. Arquitectura de software UML del sistema de control de un detector del experimento

En la *capa de interfaz de usuario*, los operadores utilizan servidores dedicados, denominados *Nodos de Operación* (ON). Estos nodos proporcionan un conjunto estandarizado de interfaces de usuario y permiten el trabajo interactivo. Las *interfaces de usuario* ejecutadas en los nodos de operación (ON) son conectadas remotamente a los sistemas del detector individuales en los *Nodos de Trabajo* (WN).

Las operaciones del DCS son realizadas por el usuario mediante uno o varios paneles especializados con el objetivo de reducir riesgos y tener mayor eficiencia [2]. Los usuarios del DCS pueden ser locales; conectados a la red interna de CERN o desde el ALICE RCC, o bien usuarios remotos que cuentan con privilegios en el control de acceso.

La *capa de control* recibe y procesa información generada en la capa inferior de campo para hacerla disponible en las capas superiores de interfaz de usuario y operación. De igual manera recibe información de las capas superiores para ser procesadas y distribuidas hacia la capa de campo [2]. El núcleo esencial de la capa de control es el software SCADA WinCC-OA®, el cual está compuesto por módulos manejadores que se comunican entre sí mediante los protocolos TCP/IP.

La arquitectura WinCC-OA permite construir sistemas distribuidos para repartir la carga de procesamiento y el acceso remoto. Los subsistemas de control realizados en WinCC-OA® para un detector son integrados en el sistema de control general distribuido de ALICE. La *capa de control* está conformada por computadoras (*Worker Nodes*) en las que se ejecutan las tareas del DCS. Los WNs también pueden ser PLCs o dispositivos similares a los PLCs. Los WNs no permiten el trabajo interactivo.

El software del *JCOP framework* complementa las funcionalidades de WinCC-OA® mediante el desarrollo de lineamientos y herramientas, como son: alarmas, almacenamiento, configuración, control de acceso, tendencias, componentes de dispositivos, herramientas FSM, y conexión (OPC, DIM, DIP) [43-45]. Algunos de los componentes más importantes del *framework* JCOP son: *fwCore*, *fwCaen*, *fwTrending*, *fwConfigurationDB*, *fwFSMConfDB*, *fwDIM*, *fwDIM* y *fwAnalogDigital*. Cabe mencionar que la componente *FwCore* contiene las siguientes herramientas: a) *Device Editor Navigator* (DEN), b) sub-componente *fwGeneral*, c) sub-componente FSM, y d) componente *fwConfigs*. *JCOP framework* es complementado por componentes específicos de ALICE, los cuales son usados por los expertos en los sub-detectores para construir sus propias aplicaciones de control. Entre los componentes de ALICE están: interfaz de usuario, configuración (hardware, software y sistemas), intercambio de datos, herramientas de seguridad y bases de datos, controladores y librerías de dispositivos, y FSMs estándar [4-5].

La *capa de acceso* a los dispositivos está restringida a un conjunto de protocolos de comunicación, como son: OPC, DIM, y controladores (*drivers*) específicos (S7, Modbus, SNMP, etc.) [104].

La *capa de campo* está compuesta por dispositivos como: fuentes de poder, buses de campo, sensores, actuadores, ELMB (*Embedded Local Monitor Board*), controladores PLC, entre otros [46-59]. Los sub-detectores son segmentados lógicamente en subsistemas como son: alto voltaje (HV), bajo voltaje (LV), electrónica de frontera final (FEE), gas, enfriamiento, principalmente.

### 5.3.4.2 Diagramas de Clase

Los *diagramas de estructuras estáticas* reflejan la estructura física del sistema a través de sus clases, métodos, atributos, interfaces, paquetes, etc., y sus relaciones. Un *diagrama de clase* UML es un

ejemplo de un diagrama de estructura estática y tiene como unidad básica la *clase*, que encapsula toda la información de un objeto (instancia de clase) e incluye comportamientos (métodos) y atributos (características) [27]. A través de las clases es posible modelar el entorno y el comportamiento de elementos físicos o no físicos.

Los *diagramas de clase* UML se utilizan para desarrollar un modelo de sistema orientado a objetos para definir las clases del sistema y las asociaciones entre estas clases [34]. Estos diagramas se consideran de tipo *estático* porque no describen una acción. Si un actor es una persona, no puede ser representado por código. De lo contrario, si un actor es un subsistema, su funcionamiento puede ser simulado como una clase o subprograma [23]. Los *diagramas de clase* UML desarrollados para el sistema de control del detector AD son presentados en el siguiente capítulo.

### 5.3.4.3 Vista Dinámica

El *diagrama de comportamiento*, también llamado *dinámico*, muestra cómo los diferentes elementos del sistema interactúan, colaboran y cambian de estado durante la ejecución del sistema para proporcionar la funcionalidad requerida. Los *diagramas de secuencia* y los *diagramas de estados* de UML son ejemplos de diagramas dinámicos.

Primeramente, los *diagramas de secuencia* UML se utilizan principalmente para modelar las interacciones entre actores y objetos en un sistema en función del tiempo, así como las interacciones entre los objetos en sí [22-30]. Un *diagrama de secuencia* muestra la serie de interacciones que se producen para un caso de uso particular o una instancia de caso de uso. Al igual que en el caso anterior, se diseñaron *diagramas de secuencia* UML de expertos en el detector, expertos en el DCS central de ALICE y el operador del DCS de ALICE, que se obtuvieron a partir de los casos de uso presentados anteriormente. Los *diagramas de secuencia* UML diseñados para el sistema de control del detector AD son presentados en el apéndice C de este trabajo.

Por otra parte, los diagramas de estado indican cómo el sistema reacciona a ciertos eventos y / o comandos de las capas superiores del sistema [14]. UML define una notación estándar para la definición de *diagramas de estado*. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el CERN utiliza una notación propia, adaptada por JCOP, para especificar *diagramas de estado* [35]. La diferencia más significativa entre las dos anotaciones es que, los experimentos y detectores para HEP

manejan un número limitado de estados y acciones posibles, razón por la cual JCOP define un conjunto de colores estandarizados para cada estado en cada uno de sus nodos/unidades [6]; situación no contemplada en la notación UML. Cabe mencionar que los estados y acciones utilizadas en los DCS pueden variar, dependiendo de la capa en donde se encuentra el nodo a que se hace referencia. Por lo tanto, para este trabajo se eligió la nomenclatura JCOP CERN. Los *diagramas de estado* UML desarrollados para el sistema de control del detector AD son presentados en el siguiente capítulo.

## Capítulo 6

# Descripción del DCS Desarrollado para el Detector AD

### 6.1 Arquitectura de Capas del DCS

Más de 100 sistemas individuales se conectan a un sistema central distribuido, compartiendo el control y datos de ALICE. Por lo tanto, cada uno de los 19 sub-detectores del experimento ALICE, actúa como un sistema de control autónomo; lo que permite que cada sub-detector sea controlado independientemente de los demás. La figura 25 muestra las capas que integran la arquitectura del sistema de control de un detector determinado en el experimento ALICE.

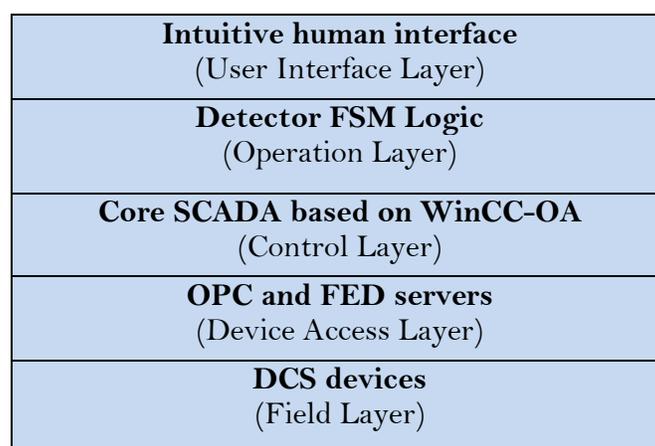


Figura 25. Arquitectura de capas del DCS de un detector en ALICE [60-61]

En tanto que la figura 26 muestra el diagrama de contexto de la arquitectura del sistema de control de un detector determinado para el mismo experimento.

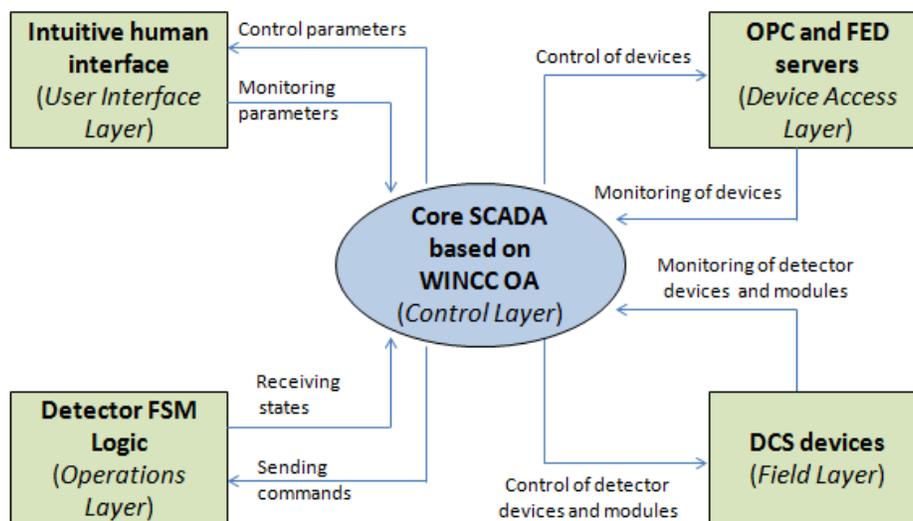


Figura 26. Diagrama de contexto de la arquitectura del sistema de control de un detector en el experimento ALICE

De acuerdo con las dos figuras anteriores, se aprecia que el núcleo central del sistema de control es el sistema SCADA WinCC-OA® [30, 61]. Los servicios centrales del DCS son implementados en el ambiente de WinCC-OA®, este software constituye la *capa de control* del DCS [31, 60].

La *capa de interfaz de usuario (User Interface layer)* es la capa superior de la arquitectura del DCS de ALICE, la cual permite la interacción gráfica del usuario (GUI) con los elementos del detector, así como con los dispositivos y equipos que lo integran [30]. Esta GUI es distribuida como un componente estandarizado usado por todos los detectores conforme a las herramientas y lineamientos definidos [66]. El cumplimiento de la normatividad anterior permite al usuario de los paneles operativos percibir un mayor grado de familiaridad y facilitar su operación.

La *capa de operación (Operation layer)* es una funcionalidad extendida del sistema WinCC-OA, basada en la herramienta CERN-FSM. Este *framework* permite modelar cada componente de control, lógico o dispositivo de la arquitectura de software del detector, como una máquina de estados finitos, por medio del uso predefinido de estados y comandos. La herramienta CERN-FSM permite definir la estructura jerárquica tipo árbol correspondiente a cada detector [90].

La *capa de acceso a dispositivos (Device Access layer)* es un nivel de abstracción de dispositivos basado en software, que permite la interacción entre las capas de control y campo [30]. A pesar de la estandarización de los dispositivos usados en ALICE, debido a la diversidad de tecnologías, es necesario en muchas ocasiones utilizar dispositivos no estandarizados, principalmente en los módulos electrónicos de frontera final. Por un lado, están los servidores OPC, que permiten el acceso de la capa de control conformada por WinCC-OA® hacia los dispositivos de hardware comercial de la *capa de campo* [39-40]. En tanto que el servidor FED (*Front End Device*) maneja un complejo mecanismo cliente-servidor basado en el protocolo de comunicación DIM (*Distributed Information Manager*), para comunicar al sistema WinCC-OA® con los dispositivos no estandarizados de la *capa de campo* [7].

La *capa de campo (Field layer)* está constituida por todos los dispositivos y equipos de hardware requeridos para recolectar información del detector, y proporcionar los servicios necesarios para la operación del mismo.

## 6.2 Arquitectura de Hardware

El sistema de control del detector AD tiene una arquitectura de hardware compatible con la arquitectura que requiere el experimento ALICE; la cual puede ser sub-dividida en tres capas: a) *supervisión*, b) *control de proceso*, y c) *capa de campo* [2]. Como se definió previamente, la *capa de supervisión* consiste en los nodos de operación (ON) que proporcionan las interfaces de usuario a los operadores, mientras que la capa de control de proceso consiste en nodos de trabajo (WN), antes mencionados. De igual forma, la *capa de campo* consiste en todos los equipos y dispositivos de hardware que integran el experimento y sus detectores.

Las figuras 27 y 28 muestran las arquitecturas de hardware del experimento ALICE y el detector AD, respectivamente.

## 6.3 Arquitectura de Software

La arquitectura de software tiene una estructura jerárquica tipo árbol que modela la forma en que operan los subsistemas y dispositivos del detector. La estructura jerárquica está compuesta de nodos interconectados entre sí, en donde cada uno tiene un solo padre, excepto el nodo superior

(*top node*). Los nodos pueden tener cero, uno o más hijos. Un nodo sin hijos es llamado *hoja*, y a un subconjunto de nodos del árbol se le denomina *sub-árbol*. Existen tres tipos de nodos que sirven como bloques básicos de control y/o modelado, los cuales son: Unidad de Control (CU, *Control Unit*), Unidad Lógica (LU, *Logical Unit*) y Unidad de Dispositivo (DU, *Device Unit*). Los modelos de CUs y LUs modelan y controlan los sub-árboles debajo de ellos. Una DU modela un dispositivo, y es un nodo tipo hoja. La jerarquía puede tener un número arbitrario de niveles para proporcionar tantas abstracciones de capas como se requieran. El comportamiento y la funcionalidad de cada nodo en la jerarquía de árbol son modelados e implementados como una máquina de estados finitos (FSM) [6].

La figura 29 muestra la arquitectura de software jerárquica del DCS del detector AD, en donde se describen los subsistemas de este detector [71].

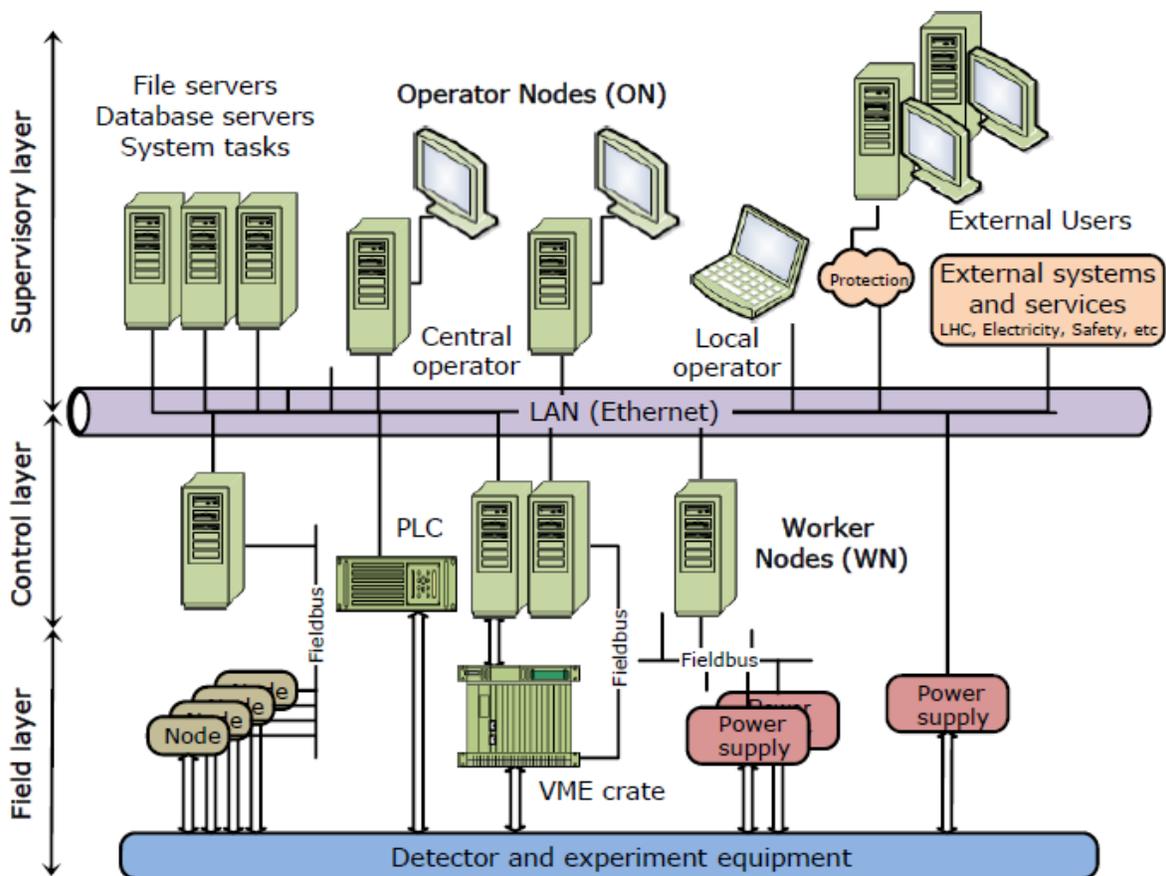


Figura 27. Arquitectura de hardware del DCS de ALICE [2]

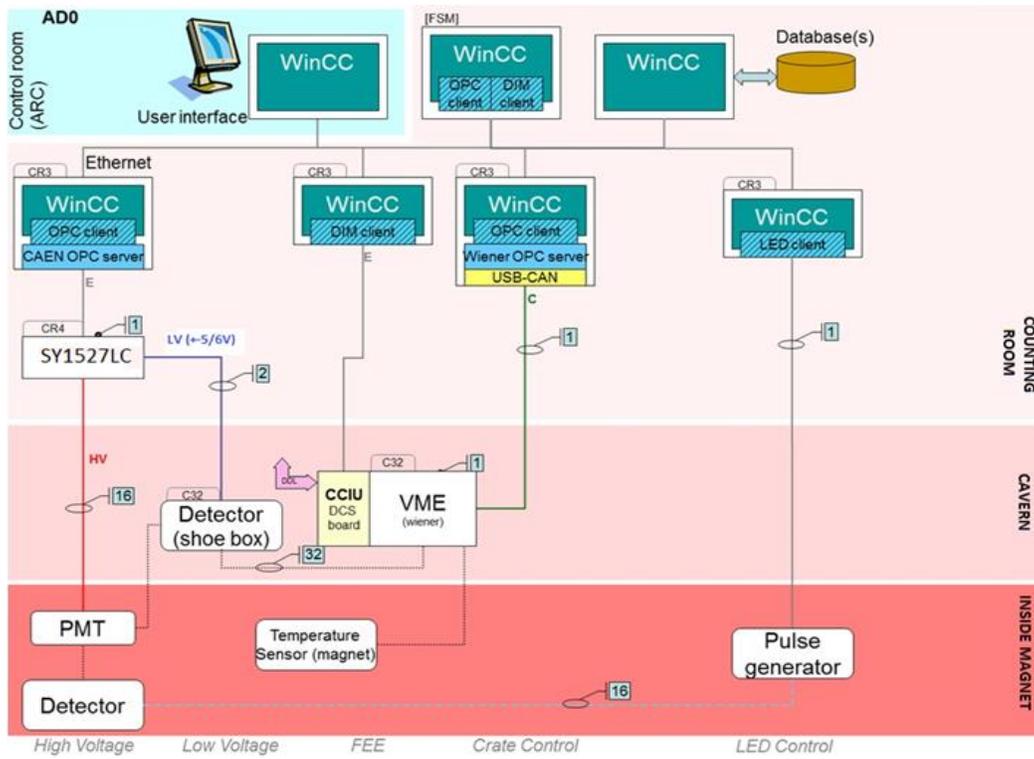


Figura 28. Arquitectura de hardware del DCS del detector AD [71]

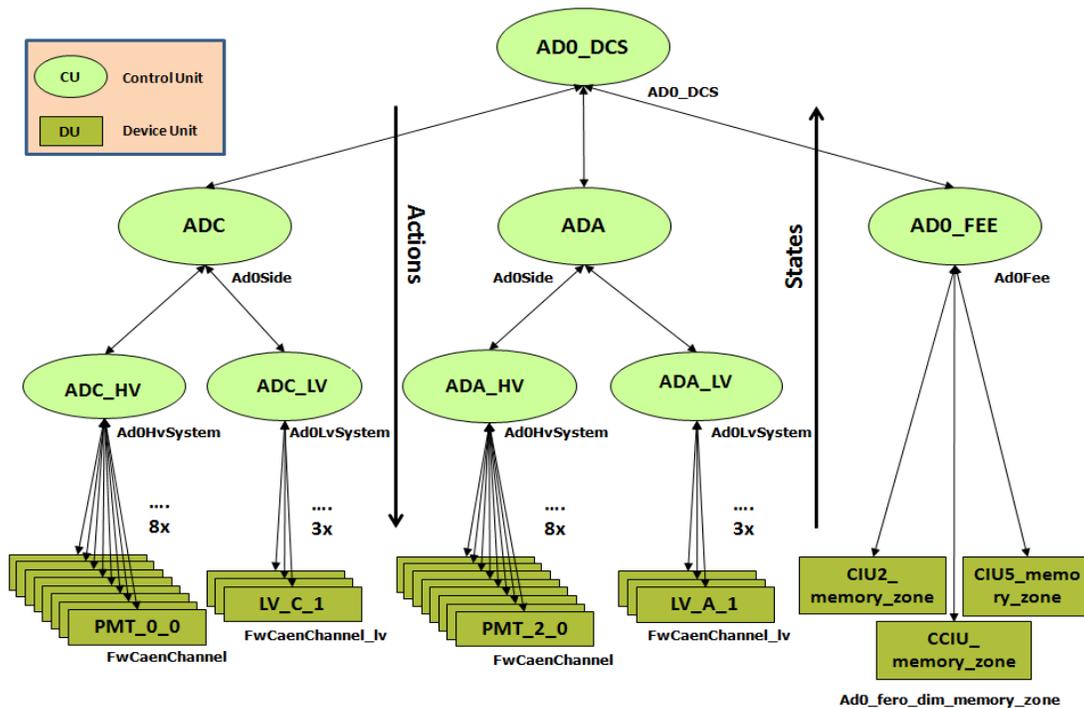


Figura 29. Arquitectura de software del DCS del detector AD [71]

## 6.4 Descripción de los elementos de los diagramas de estado

Cada sub-detector define una arquitectura jerárquica para representar el diseño del sistema a ser controlado, generalmente pudiendo iniciar desde los canales individuales y módulos de dispositivos hasta completar los diferentes subsistemas. Esta estructura de árbol es extendida hasta el nodo superior de ALICE, el cual colecta toda la información de los sub-detectores y envía comandos a los mismos [61-63]. Esta forma de diseño orientada a detector (de abajo hacia arriba) pudiera variar e incluso llevarse a cabo de arriba hacia abajo dependiendo de diversos factores. Cada entidad del detector está representada como un nodo y presenta un conjunto finito de estados (por ejemplo, ON, OFF, RAMPING, ...) entre los cuales puede transitar. La transición puede ser ejecutada por un operador o automáticamente. Esta arquitectura permite la operación automática y centralizada de todos los componentes. Un único operador puede enviar comandos, los cuales se propagan a través del árbol y ejecuta las acciones preprogramadas. El conjunto de comandos usados por el operador es reducido al mínimo para reflejar las necesidades operativas de ALICE, por ejemplo: GO\_READY, GO\_STANDBY, etc.

Para cada uno de los nodos del DCS del detector AD se han definido un comportamiento y una funcionalidad en términos de una FSM usando la herramienta SMI++ [91] desarrollada en el CERN. El mecanismo de FSM asegura que los comandos son ejecutados por todas las hojas destino y que las acciones estén sincronizadas. La ejecución física de las acciones es realizada por el sistema WinCC-OA® en el plano de sistemas, y el estatus es reportado de regreso al operador a través de FSM en el plano de operación. El estatus global es computado como una combinación de los estados de todos los subsistemas [4].

### 6.4.1 Estados del DCS de AD

El estándar UML incluye una notación estandarizada para la definición de los diagramas de estado. Sin embargo, CERN maneja su propia notación, adaptada por JCOP, para la especificación de este tipo de diagramas. La diferencia más significativa entre ambas notaciones es que, los experimentos y detectores de HEP manejan un número limitado de posibles estados; motivo por el cual JCOP define un conjunto de colores estandarizado para cada estado. Situación que no contempla la notación UML para diagramas de estado. Los estados que se utilizan en el DCS del detector de AD pueden variar, ya que dependen del nodo al que se esté haciendo referencia. El

grupo ACC establece un estándar de colores para los diferentes estados de los nodos o unidades; esto debido a que cada uno de los estados está relacionado no solo a un color determinado sino también a una función implícita [4-5], como se aprecia en la tabla VII.

Tabla VII. Relación y descripción estandarizada de colores para los diferentes estados de las FSMs

Color FSM	Descripción	Ejemplos de Estados
DEAD (gris)	La FSM no está ejecutándose en esta unidad. Control no disponible.	DEAD
OK_NOT_PHYSICS (azul)	La unidad está en un estado estable y correcto. No está lista para tomar datos físicos.	OFF, STANDBY, BEAM_TUNING, ...
OK_PHYSICS (verde)	La unidad está lista para tomar datos físicos.	READY
ALERT3 (rojo)	La unidad o su árbol están en un error fatal o en un estado no deseado. Requiere de intervención manual.	ERROR, TRIPPED, ...
ALERT2 (naranja)	La unidad o su árbol están en un estado de error o no deseado. Puede ser recuperado automáticamente.	MIXED, ...
ALERT1 (amarillo)	La unidad está en una transición, estado normal. Cambia automáticamente a un estado estable.	RAMPING, DOWNLOADING, MOVING, ...

En la figura 30 se aprecian los estados posibles de la FSM correspondiente al nodo superior del sistema de control de AD, denominado ADO\_DCS.

FSM state	HV	LV	FEE	VME	Safety state	Magnet safe	FERO
OFF	OFF	OFF	NA	OFF	SS	Safe	NOR
STANDBY	OFF	OFF	Not Conf	ON	SS	Not safe	NOR
STBY_CONFIGURED	OFF	OFF	Conf	ON	SS	Not safe	READY
BEAM_TUNING	OFF	ON	Conf	ON	S	Not safe	READY
READY	ON	ON	Conf	ON	Not safe	Not safe	READY
MOVING_...	RAMP_...	RAMP_...		ON	Unknown	Unknown	
MIXED	ANY	ANY	ANY	ANY	Unknown	Unknown	
ERROR	ERROR				Unknown	Unknown	

- NA – does Not Apply
- SS – Super Safe
- S – Safe
- NOR – Not Ready

Figura 30. Estados del nodo superior ADO\_DCS en sistema de control del detector AD

En esa misma figura se muestra el significado de cada estado en términos del estatus de los subsistemas de AD (HV, LV, FEE, VME) así como del estatus del DCS de ALICE (*Safety State, Magnet Safe*). Por otra parte, la figura 31 define la dependencia de dichos estados del nodo superior del estado de sus nodos hijos (ADC, ADA y ADO\_FEE); así como la dependencia del estado de éstos de cada una de las entidades o nodos que se definen en la arquitectura de software del sistema de control de AD (véase fig. 29).

← States

ADO_DCS (ADO_DCS)	ADC, ADA (Ad0Side)	ADC_HV, ADA_HV (Ad0HvSystem)	PMT_[0..3]_ [0..3] (FwCaenChannel)	ADC_LV, ADA_LV (Ad0LvSystem)	LV_C_[1..3] LV_A_[1..3] (FwCaenChannel_lv)	ADO_FEE (Ad0Fee)	CCIU, CIU2, CIU5 (ad0_fero_dim_memory_zone)
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
STANDBY	STANDBY					STANDBY	UNCONFIGURED
STBY_CONFIGURED	STBY_CONFIGURED					STBY_CONFIGURED	
BEAM_TUNING	BEAM_TUNING	OFF	OFF	ON	ON	BEAM_TUNING	CONFIGURED
READY	READY	ON	ON	ON	ON	READY	
MOVING_...	MOVING_...	RAMP_...	RAMP_...	RAMP_...	RAMP_...	DOWNLOADING	DOWNLOADING
MIXED	MIXED	MIXED	Any	MIXED	Any	MIXED	Any
ERROR	ERROR	TRIPPED	TRIPPED	TRIPPED	TRIPPED	ERROR	ERROR

• NA – does Not Apply  
 • ' – ' No action  
 • Top row colors indicate level in the hierarchy  
 • 2<sup>nd</sup> to bottom row colors are mandatory

DU

Figura 31. Relación de estados para los diferentes nodos/unidades del detector AD

La tabla de la figura. 31 muestra todos los nodos que se utilizan en este DCS (el color de fondo indica el nivel de cada nodo en el árbol jerárquico de control de la figura 29): ADO\_DCS, ADC, ADA, ADC\_HV, ADA\_HV, ADC\_LV, ADA\_LV, PMT\_[0...3]\_[0...3], LV\_C\_[1...3], LV\_A\_[1...3], ADO\_FEE, CCIU, CIU2, y CIU5. Esta figura hace evidente la propagación hacia arriba de los estados de los nodos desde el fondo de la jerarquía (hojas) hasta el nodo superior. Las hojas, en el nivel más bajo de la jerarquía (con fondo verde olivo), no tienen nodos hijos de los cuales dependa su estado. Estos nodos hoja modelan a los dispositivos físicos de hardware: PMT\_1\_3, por ejemplo, modela el canal de la fuente de alto voltaje (AG535) que alimenta al tubo fotomultiplicador (PMT) del módulo 3 de la capa 1 en ADC (véase figura 9). De este modo el estado de los nodos hoja depende del estado real de los dispositivos que se controlan; de ahí que la clase de estos nodos se llame Unidad de Dispositivo (DU).

## 6.4.2 Acciones del DCS de AD

En cada uno de los estados es posible efectuar un conjunto reducido de acciones de propagación para mover al nodo en cuestión de un estado a otro. Las acciones pueden ser realizadas directamente por un experto del detector AD u operador en el RCC de ALICE, o ser disparadas automáticamente cuando se cumplen determinadas condiciones o se presentan disturbios.

La figura 32 muestra las posibles acciones que el experto u operador pueden ejecutar en cada uno de los nodos/entidades del sistema de control del detector AD. En esta figura se aprecia que la lista de posibles acciones puede ser diferente para cada uno de los nodos sin embargo la mayoría de las acciones en cada nodo se corresponden con acciones de los nodos en el nivel inmediato inferior del árbol (sus hijos). Cuando no existe acción correspondiente (indicada con un guion) significa que no hay un cambio de estado de ese nodo asociado a la acción del nodo en el nivel inmediato superior (nodo padre). La figura 32 hace evidente la propagación hacia abajo de las acciones, desde el nodo superior (ADO\_DCS) hasta el nivel más bajo de las DUs.

Actions →

ADO_DCS (ADO_DCS)	ADC, ADA (Ad0Side)	ADC_HV, ADA_HV (Ad0HvSystem)	PMT_[0.. 3]_[0..3] (FwCaen Channel)	ADC_LV, ADA_LV (Ad0LvSystem)	LV_C_[1..3] LV_A_[1..3] (FwCaenCh annel_lv)	ADO_FEE (Ad0Fee)	CCIU, CIU2, CIU5 (ad0_fero_dim_ memory_zone)
OFF	GO_STANDBY	—	—	—	—	GO_STANDBY	—
STANDBY	GO_OFF GO_STBY_CONF	—	—	—	—	GO_OFF GO_STBY_CONF	— SEND_CONFIG
STBY_ CONFIGURED	GO_STANDBY GO_BEAM_TUN GO_READY	— — GO_READY	— — GO_ON	GO_BEAM_TUN GO_READY	GO_ON GO_ON	GO_STANDBY GO_BEAM_TUN GO_READY	— — —
BEAM_TUNING	GO_STBY_CONF GO_READY	— GO_READY	— GO_ON	GO_STBY_CONF	GO_OFF	GO_STBY_CONF GO_READY	— —
READY	GO_STBY_CONF GO_BEAM_TUN	GO_STBY_CONF GO_BEAM_TUN	GO_OFF GO_OFF	GO_STBY_CONF —	GO_OFF —	GO_STBY_CONF GO_BEAM_TUN	— —
MOVING_...	—	—	—	—	—	—	—
MIXED	GO_STBY_CONF GO_READY	GO_STBY_CONF GO_READY	GO_OFF GO_ON	GO_STBY_CONF GO_READY	GO_OFF GO_ON	GO_STBY_CONF GO_READY	SEND_CONFIG SEND_CONFIG
ERROR	RECOVER	RECOVER	GO_ON	RECOVER	GO_ON	RECOVER	SEND_CONFIG

- NA – does Not Apply
- ‘—’ No action

- Top row colors indicate level in the hierarchy
- 2<sup>nd</sup> to bottom row colors shown only for reference (to states)

DU

Figura 32. Relación de acciones de propagación para los diferentes nodos/unidades de AD

Al igual que en el caso de los estados, estos nodos hoja propagan las acciones hacia los dispositivos reales de hardware para; por ejemplo, apagar un canal de bajo voltaje o configurar una de las tarjetas de FEE. Es claro entonces que una acción a este nivel provocará el cambio de estado del dispositivo (de *encendido* a *apagado* o de *no configurado* a *configurado* en los ejemplos dados) lo cual se reflejará como un cambio de estado del propio nodo DU que envió la acción. Este cambio de estado se propagará, a su vez, hacia arriba en la jerarquía de control. En la figura 32, el color de fondo en las celdas con las acciones hace referencia al estado correspondiente de cada nodo.

## 6.5 Control jerárquico

La arquitectura de software del detector AD presentada en la figura 32, incluye los principales subsistemas de este detector. Los nodos ubicados en nivel superior son representados de buena manera por este diagrama. Sin embargo, a medida que se va descendiendo en los niveles de jerarquía, la arquitectura se vuelve más compleja al bajar hacia los dispositivos. Por lo que se llegan a omitir detalles por simplicidad. La funcionalidad de Máquina de Estados Finitos (FSM) incorporada en el *framework* como un componente del mismo, mediante la herramienta SMI++ (*State Management Interface*), la cual proporciona herramientas para la distribución, autonomía, comunicación, coordinación y organización de nodos individuales dentro del árbol de sistema de control [54-55]. El componente FSM del *framework* JCOP permite la descripción de cualquier subsistema como una colección de objetos, en donde cada objeto se comporta como una máquina de estados finitos; es decir, los objetos siempre están en un estado definido y pueden recibir acciones que los hacen transitar de un estado a otro. Un grupo de objetos relacionados lógicamente es llamado en términos de SMI: un dominio. SMI++ consiste en un conjunto de herramientas, entre las que destaca un lenguaje especial denominado Lenguaje de Administración de Estado (SML, *State Manager Language*) que se utiliza para describir los objetos. La descripción SML es interpretada por un elemento lógico llamado Administrador de Estado (SM, *State Manager*) codificado en C++ [91].

### 6.5.1 Unidad de Control Principal: ADO\_DCS

El sistema de control del detector AD ha sido diseñado como una jerarquía orientada a detector, es decir, basado en los componentes físicos (los 8 módulos centelladores dispuestos en 4 capas) y requerimientos del detector. En el nivel más alto de la jerarquía, el nodo superior (ADO\_DCS) es la unidad de control (CU) principal, véase la figura 33. Los comandos enviados desde este nodo son remitidos en paralelo a todos los sub-árboles incluidos en la partición. Los estados reportados por todos los componentes de los sub-árboles son interpretados en este punto para reflejar el estatus de todos los componentes del detector.

La figura 33 muestra el diagrama de árbol de los nodos FSM de AD hasta el segundo nivel, en donde los nodos ADC y ADA comprenden los componentes de los sub-detectores ADC y ADA, respectivamente. En tanto que el nodo ADO\_FEE representa un sub-árbol que contiene los nodos que modelan las tarjetas CIU y CCIU de la electrónica de frontera final (FEE).

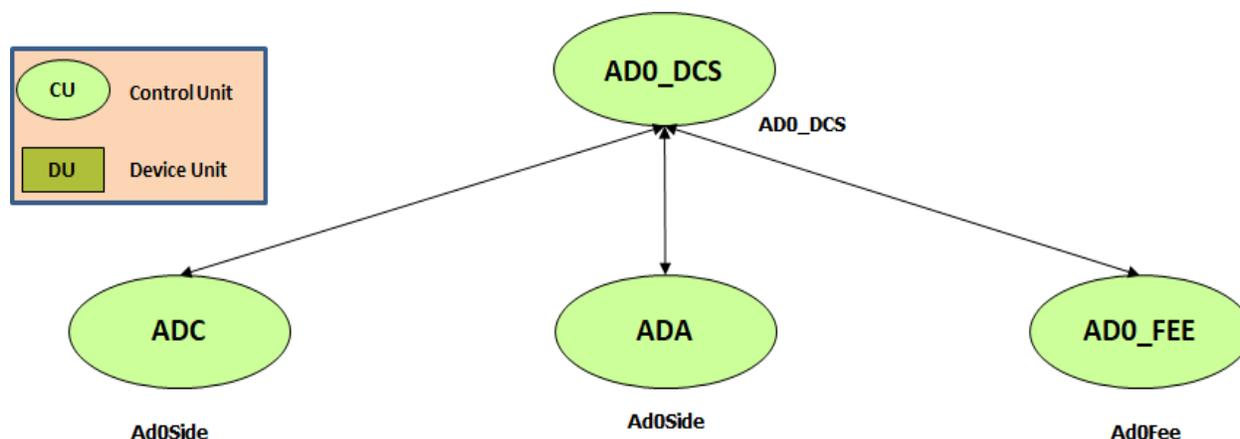


Figura 33. Diagrama de árbol de los nodos FSM de AD en los niveles superiores

Cada uno de los nodos muestra el nombre de las CUs implementadas en SMI++. En el caso de los nodos ADC y ADA se implementan operativamente en software con una misma clase de unidad de control denominada *AdoSide*; en tanto que para el nodo ADO\_FEE, el comportamiento de sus estados y acciones se efectúa con la clase de CU llamada *AdoFee*.

El diagrama de estados FSM del nodo superior de AD se muestra en la figura 34. Esta definición de estados, acciones y transiciones entre estados está basada en los lineamientos proporcionados



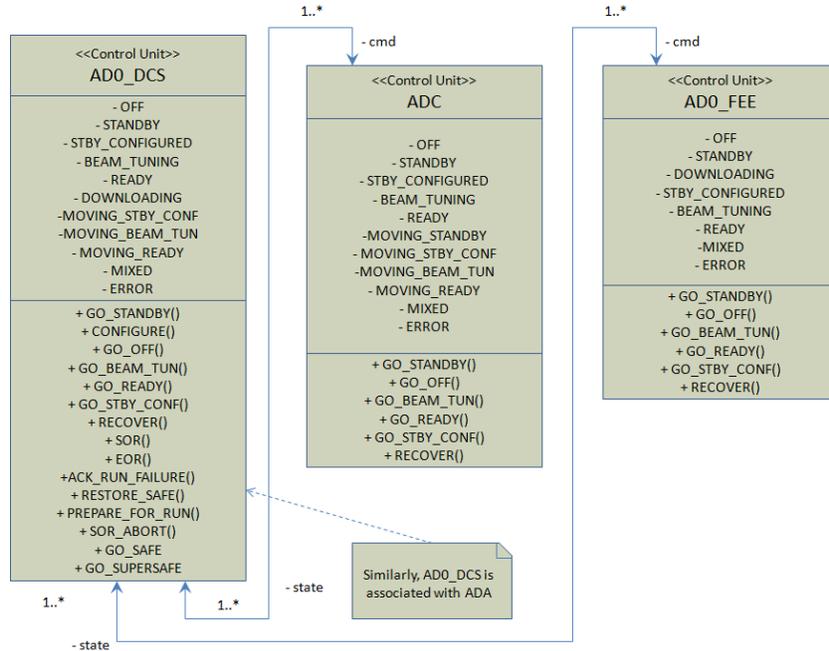


Figura 35. Diagrama de clases UML del nodo superior de AD (ADO\_DCS)

En la figura 35, la asociación entre los objetos (clases SMI++), “-cmd” representa comandos enviados y “-state” representa estados recibidos. En la terminología UML, el estado de los objetos corresponde a la clase atributos y sus acciones corresponden a la clase operaciones.

### 6.5.2 Interfaz principal del usuario

El componente FSM del *framework* JCOP permite la implementación de interfaces de usuario relacionadas con cualquier objeto SMI++ mediante los paneles de WinCC-OA®. Esto permite que los comandos puedan ser enviados y los estados monitoreados gráficamente desde el panel asociado al nodo. Asimismo, el usuario puede navegar a través de la jerarquía y desplegar los paneles de operación correspondientes a cada nodo en el árbol de control. La interfaz de usuario principal del nodo superior del sistema de control (DCS) del detector AD se muestra en la figura 36. Cabe mencionar que el panel asociado a ADO\_DCS, así como los demás paneles, está embebido en la UI estándar de ALICE [66]. Lo que permite a los operadores del DCS central percibir una familiaridad entre los paneles de operación; y al mismo tiempo ofrecer una fácil operación y visualización.

Primeramente, en esta interfaz es posible monitorear el estado de los canales de alto voltaje en cada uno de los módulos centelladores del detector AD; los cuales se encuentran divididos por sub-detector, y cada sub-detector se organiza por número de capa (LAYER en la figura) y módulo (PAD en la figura), adicionalmente véase la figura 9.

La figura 36 también muestra el estado de las fuentes de bajo voltaje para ambos sub-detectores (ADA\_LV y ADC\_LV). De igual manera, se puede seleccionar la receta (*recipe*) de configuración de la FEE, así como monitorear su estado. Finalmente, se puede conocer el estado de la fuente de alimentación de las tarjetas FEE (Crate1 en la figura) e incluso apagarlo o encenderlo en caso de requerirse. En el lado izquierdo está localizado el navegador del árbol jerárquico FSM.

En la parte izquierda del UI, se muestra el nodo seleccionado actualmente y su estatus correspondiente. El operador puede navegar a través de la jerarquía FSM, donde cada sub-árbol puede ser expandido o colapsado de acuerdo con las necesidades. Es posible enviar comandos a la jerarquía FSM por medio de un panel de control FSM dedicado, el cual es abierto desde el navegador de árbol FSM; además de desplegar el nodo seleccionado y sus nodos hijos. La figura 37 muestra el panel de control FSM del nodo principal del sistema de control del detector AD.

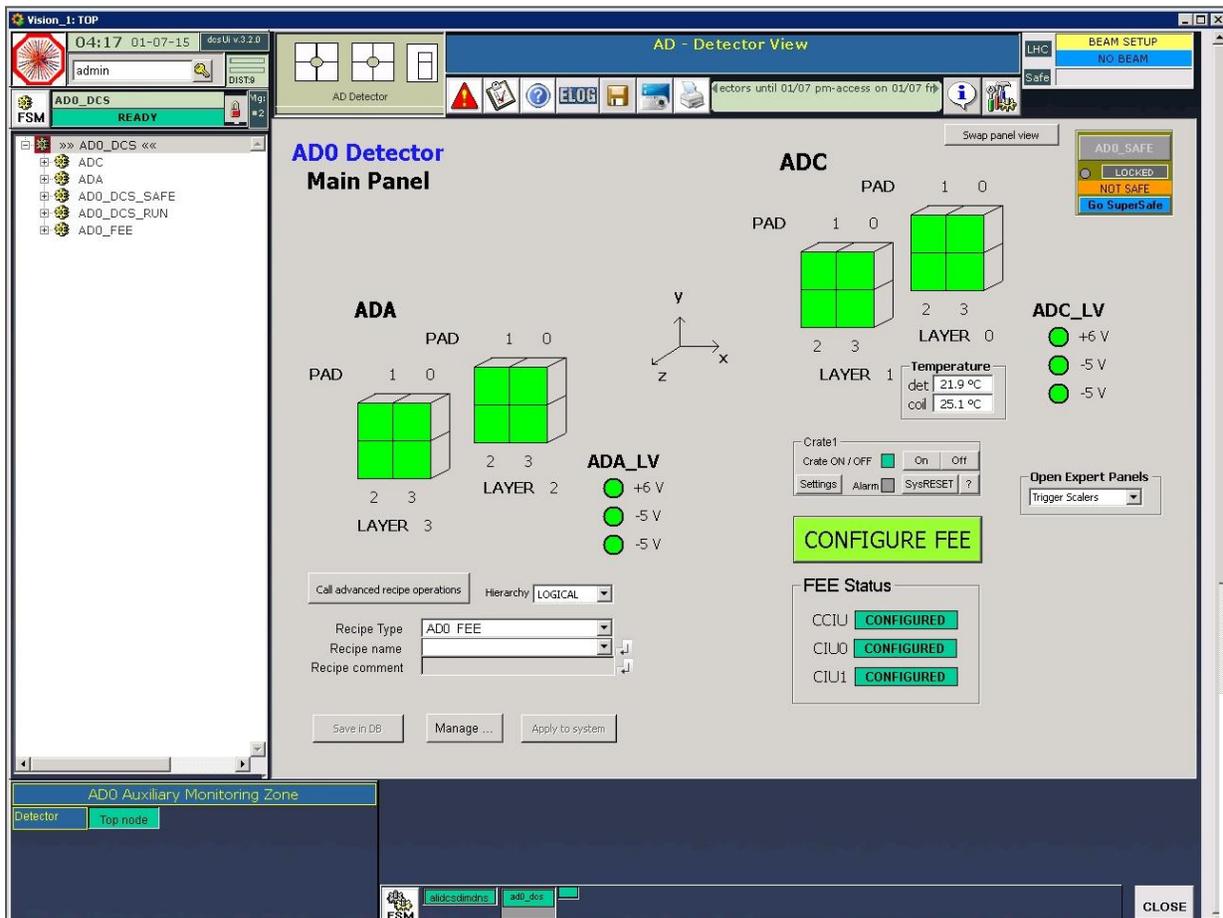


Figura 36. Interfaz de usuario principal del detector AD en el DCS

### 6.5.3 Nodos ADC y ADA

Las unidades de control ADC y ADA permiten controlar los subsistemas de alto y bajo voltaje en los sub-detectores ADC y ADA, respectivamente. Las unidades de control ADC y ADA del DCS de AD son modeladas haciendo uso de SMI++, y utilizan el mismo diagrama de estados bajo el nombre de *AdoSide* (véase la figura 33). La figura 38 muestra el diagrama de estados FSM de la unidad de control denominada *AdoSide*, que define el funcionamiento de los estados y acciones de los nodos ADC y ADA.

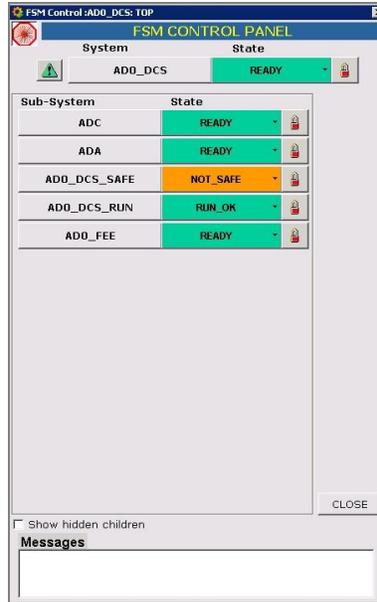


Figura 37. Panel de control FSM del nodo principal ADO\_DCS

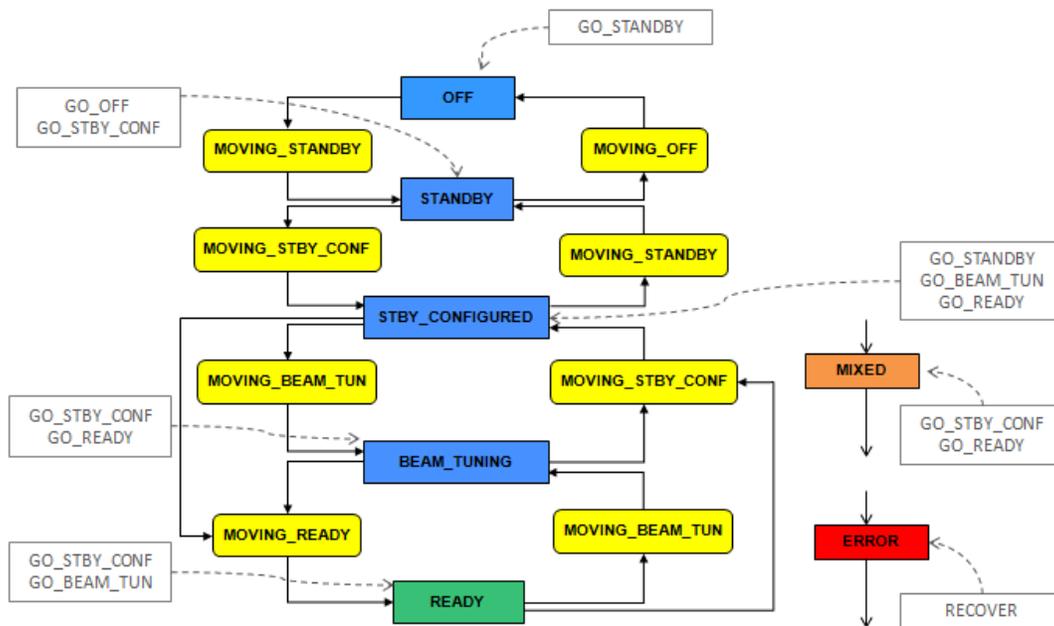


Figura 38. Diagrama de estados FSM de las unidades de control ADC y ADA

La implementación de los estados y las acciones de la clase de FSM AdoSide en SMI++ se muestra a continuación (no se incluye el código donde se implementa la transición de estados de esta FSM en sincronía con la transición de sus nodos hijos):

<pre> STATE: <b>OFF</b>   ACTION: <i>GO_STANBY</i>   move_to STANDBY  STATE: <b>STANDBY</b>   ACTION: <i>GO_OFF</i>   move_to OFF   ACTION: <i>GO_STBY_CONF</i>   move_to STBY_CONFIGURED  STATE: <b>STBY_CONFIGURED</b>   ACTION: <i>GO_STANDBY</i>   move_to STANDBY   ACTION: <i>GO_BEAM_TUN</i>   do GO_BEAM_TUN \$ALL\$AdoLvSystem   if ( \$ALL\$AdoLvSystem not_in_state RAMP_UP ) then     move_to STBY_CONFIGURED   endif   move_to MOVING_BEAM_TUN   ACTION: <i>GO_READY</i>   do GO_READY \$ALL\$FwCHILDREN   if ( \$ALL\$FwCHILDREN not_in_state RAMP_UP ) then     move_to STBY_CONFIGURED   endif   move_to MOVING_READY  STATE: <b>BEAM_TUNING</b>   ACTION: <i>GO_STBY_CONF</i>   do GO_STBY_CONF \$ALL\$AdoLvSystem   if ( \$ALL\$AdoLvSystem not_in_state RAMP_DOWN )   ACTION: <i>GO_READY</i>   do GO_READY \$ALL\$AdoHvSystem   if ( \$ALL\$AdoHvSystem not_in_state RAMP_UP ) then     move_to BEAM_TUNING </pre>	<pre> endif   move_to MOVING_READY then   move_to BEAM_TUNING endif   move_to MOVING_STBY_CONF  STATE: <b>READY</b>   ACTION: <i>GO_STBY_CONF</i>   do GO_STBY_CONF \$ALL\$FwCHILDREN   if ( \$ALL\$FwCHILDREN not_in_state RAMP_DOWN )   then     move_to READY   endif   move_to MOVING_STBY_CONF   ACTION: <i>GO_BEAM_TUN</i>   do GO_BEAM_TUN \$ALL\$AdoHvSystem   if ( \$ALL\$AdoHvSystem not_in_state RAMP_DOWN )   then     move_to READY   endif   move_to MOVING_BEAM_TUN  STATE: <b>MIXED</b>   ACTION: <i>GO_STBY_CONF</i>   do GO_STBY_CONF \$ALL\$FwCHILDREN   ACTION: <i>GO_READY</i>   do GO_READY \$ALL\$FwCHILDREN  STATE: <b>ERROR</b>   ACTION: RECOVER   do RECOVER \$ALL\$FwCHILDREN </pre>
--	--

De igual manera se presenta, la implementación en SMI++ de los estados y acciones para modelar el comportamiento de la electrónica del detector (*AdoFee*):

<pre> STATE: <b>OFF</b>   ACTION: <i>GO_STANDBY</i>   do GO_STANDBY \$ALL\$FwCHILDREN   if ( \$ALL\$FwCHILDREN not_in_state UNCONFIGURED ) then     move_to OFF   endif   move_to STANDBY   ACTION: <i>GO_BEAM_TUN</i>   do SEND_CONFIG \$ALL\$FwCHILDREN   move_to BEAM_TUNING  STATE: <b>STANDBY</b>   ACTION: <i>GO_OFF</i>   do GO_OFF \$ALL\$FwCHILDREN   ACTION: <i>GO_STBY_CONF</i>   do SEND_CONFIG \$ALL\$FwCHILDREN   move_to DOWNLOADING   ACTION: <i>GO_BEAM_TUN</i>   do SEND_CONFIG \$ALL\$FwCHILDREN   move_to BEAM_TUNING  STATE: <b>DOWNLOADING</b>  STATE: <b>STBY_CONFIGURED</b>   ACTION: <i>GO_STANDBY</i>   do RESET \$ALL\$FwCHILDREN </pre>	<pre>   if ( \$ALL\$FwCHILDREN not_in_state UNCONFIGURED ) then     endif     move_to STANDBY   ACTION: <i>GO_BEAM_TUN</i>   move_to BEAM_TUNING   ACTION: <i>GO_READY</i>   move_to READY  STATE: <b>READY</b>   ACTION: <i>GO_STBY_CONF</i>   move_to STBY_CONFIGURED   ACTION: <i>GO_BEAM_TUN</i>   move_to BEAM_TUNING  STATE: <b>MIXED</b>   ACTION: <i>GO_STBY_CONF</i>   do SEND_CONFIG \$ALL\$FwCHILDREN   move_to STBY_CONFIGURED   ACTION: <i>GO_READY</i>   do SEND_CONFIG \$ALL\$FwCHILDREN   move_to READY  STATE: <b>ERROR</b>   ACTION: RECOVER   do RESET \$ALL\$FwCHILDREN   do SEND_CONFIG \$ALL\$FwCHILDREN </pre>
---	---

Las figuras 39 y 40 muestran las interfaces de usuario para las unidades de control ADC y ADA, respectivamente.

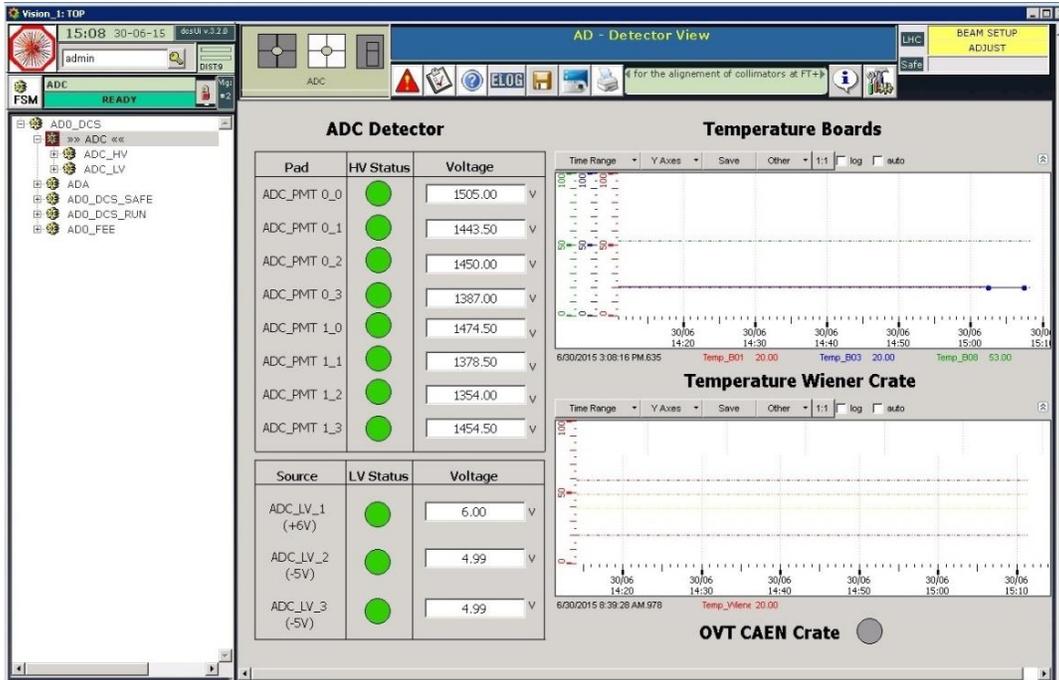


Figura 39. Interfaz de usuario del nodo ADC en el DCS del detector AD

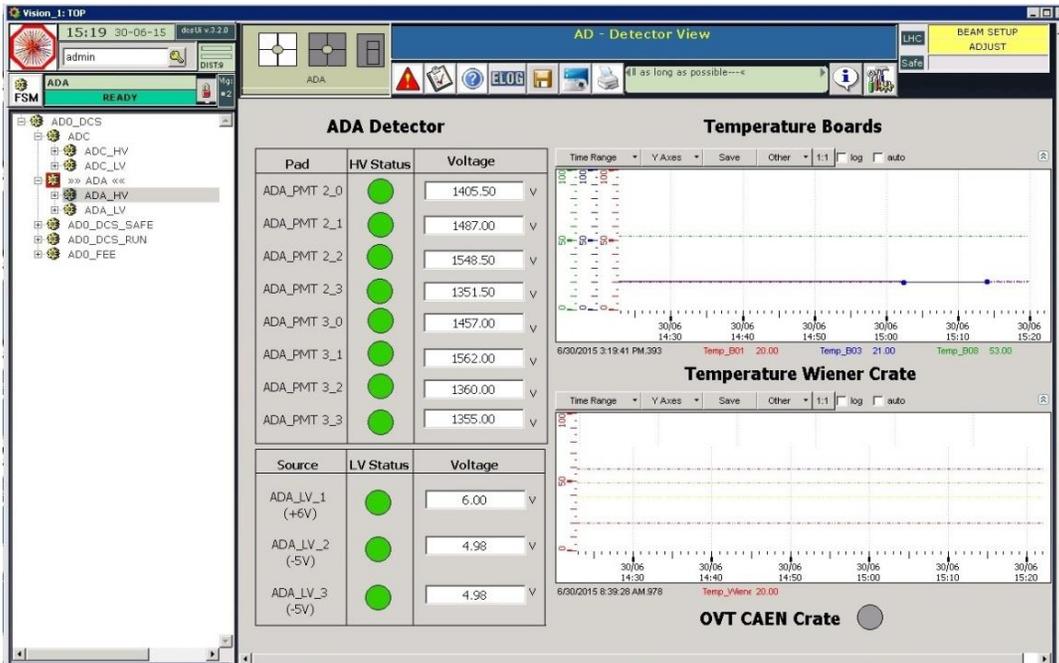
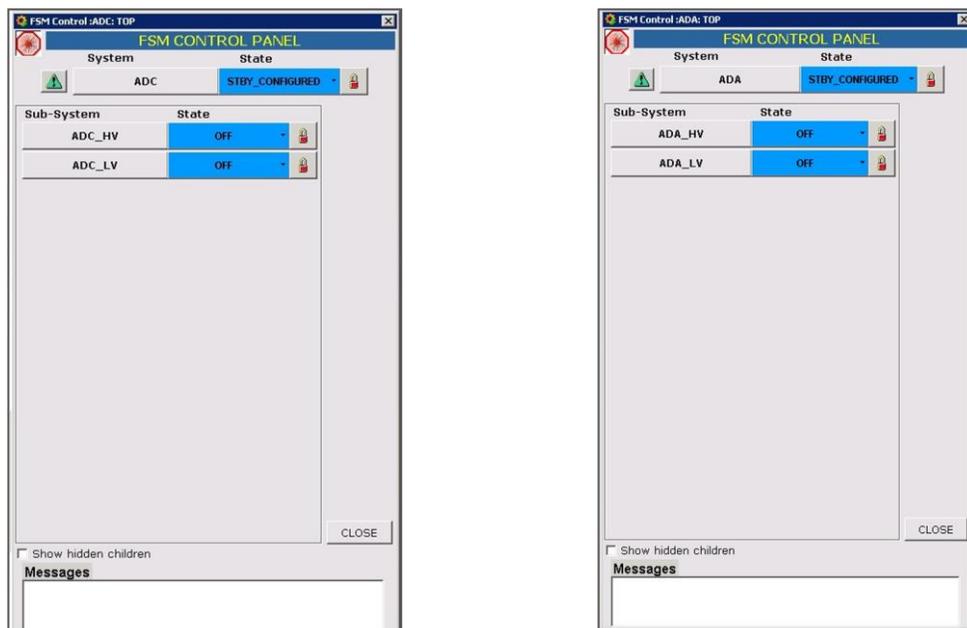


Figura 40. Interfaz de usuario del nodo ADA en el DCS del detector AD

En estas dos últimas figuras se presenta gráficamente el estado y valor actual de los canales de alto y bajo voltaje; además se pueden apreciar las gráficas de temperatura de las tarjetas FEE (rotuladas en la figura como *Wiener Crate*): dos tarjetas de interface de canal (CIU, Channel Interface Unit) y una tarjeta de interface concentradora de canal (CCIU, Channel Concentrator Interface Unit). Finalmente, en la parte inferior se encuentra un indicador en caso de que la temperatura en la fuente de alimentación CAEN, que provee tanto el alto como el bajo voltaje, se eleve demasiado. La figura 41 muestra el panel de control FSM de ADC y ADA, así como sus respectivos subsistemas. En el panel de control FSM del sub-detector ADC se aprecia que bajo éste subyacen los subsistemas ADC\_HV y ADC\_LV. Del mismo modo, en el panel de control FSM del sub-detector ADA se muestra que del mismo se derivan los subsistemas ADA\_HV y ADA\_LV.



a)

b)

Figura 41. Paneles de control FSM de los sub-detectores: a) ADC, y b) ADA

#### 6.5.4 Nodos ADC\_HV, ADA\_HV, ADC\_LV y ADA\_LV

Como se presentó en el apartado anterior, la unidad de control ADC incluye las unidades de control ADC\_HV y ADC\_LV para modelado del alto y bajo voltaje del sub-detector ADC,

respectivamente. Mientras que, la unidad de control ADA está conformada por las unidades de control ADA\_HV y ADA\_LV para modelar el alto y bajo voltaje en el detector ADA, respectivamente. Las unidades de control de los subsistemas de alto y bajo voltaje del DCS de AD son implementadas en SMI++ usando las clases de FSM *AdoHvSystem* y *AdoLvSystem*, respectivamente. La figura 42 muestra el diagrama de árbol de los nodos FSM de AD en el nivel 3 debajo de los nodos ADC y ADA.

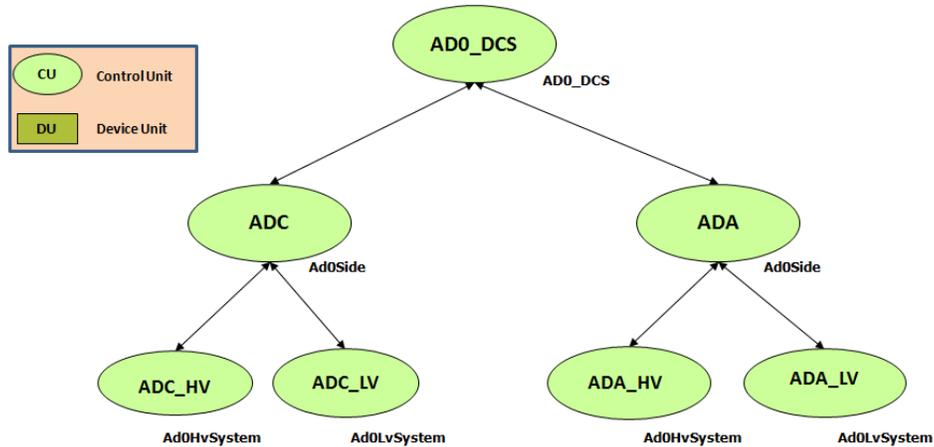


Figura 42. Diagrama de árbol de los nodos FSM de AD en el nivel 3 (subsistemas ADC/ADA)

La figura 43 muestra el diagrama de estado FSM común de las unidades de control ADC\_HV y ADA\_HV, que corresponde a la clase *AdoHvSystem*, el cual es definido como un tipo de Objeto Lógico (*Logical Object Type*) en su implementación en el software [54-55].

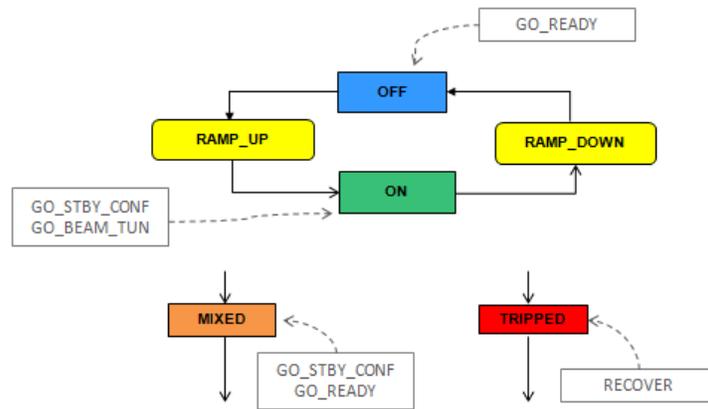


Figura 43. Diagrama de estado FSM de los nodos *ADC\_HV* y *ADA\_HV* (*AdoHvSystem*) de *AD* en el *DCS*

De igual manera, la figura 44 presenta el diagrama de estado FSM común de las unidades de control *ADC\_LV* y *ADA\_LV* con el nombre de *AdoLvSystem*, el cual también es determinado como del tipo objeto lógico en software.

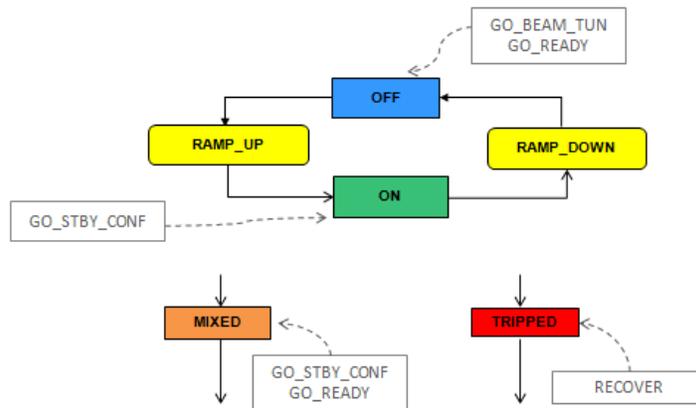


Figura 44. Diagrama de estado FSM de los nodos *ADC\_LV* y *ADA\_LV* (*AdoLvSystem*)

La configuración de los nodos de alto voltaje, tanto *ADC* como *ADA*, se implementó en *SMI++* como se muestra a continuación:

<pre> STATE: OFF ACTION: GO_READY do GO_ON \$ALL\$FwCHILDREN If ( \$ALL\$FwCHILDREN not_in_state RAMP_UP ) then     move_to OFF endif move_to RAMP_UP  STATE: ON ACTION: GO_STBY_CONF do GO_OFF \$ALL\$FwCHILDREN if ( \$ALL\$FwCHILDREN not_in_state RAMP_DOWN ) then     move_to ON endif </pre>	<pre> If ( \$ALL\$FwCHILDREN not_in_state RAMP_DOWN ) then     move_to ON endif move_to RAMP_DOWN  STATE: MIXED ACTION: GO_STBY_CONF do GO_OFF \$ALL\$FwCHILDREN ACTION: GO_READY do GO_ON \$ALL\$FwCHILDREN  STATE: TRIPPED ACTION: RECOVER do RECOVER \$ALL\$FwCHILDREN </pre>
--	--

La figura 45 muestra el diagrama de clases UML de la unidad de control ADC, en donde se aprecian los estados y acciones posibles de este nodo, como de sus hijos inmediatos ADC\_HV y ADC\_LV. Mientras que la figura 46 muestra el diagrama de clases UML de la unidad de control ADA, en donde se aprecian los estados y acciones posibles del nodo ADA, como de sus nodos hijos ADA\_HV y ADA\_LV.

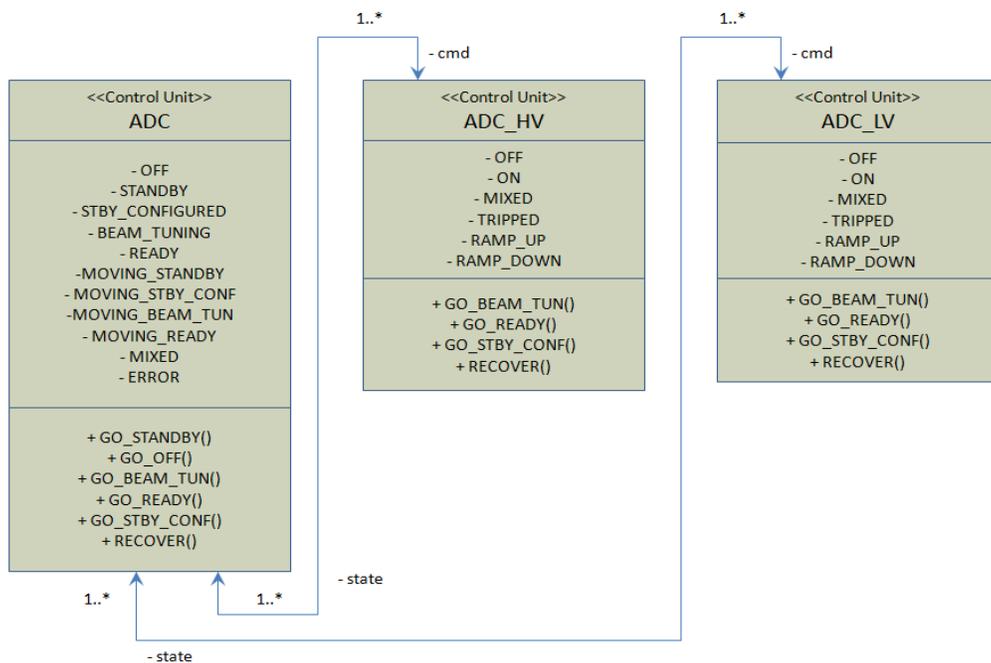


Figura 45. Diagrama de clase UML de la CU ADC

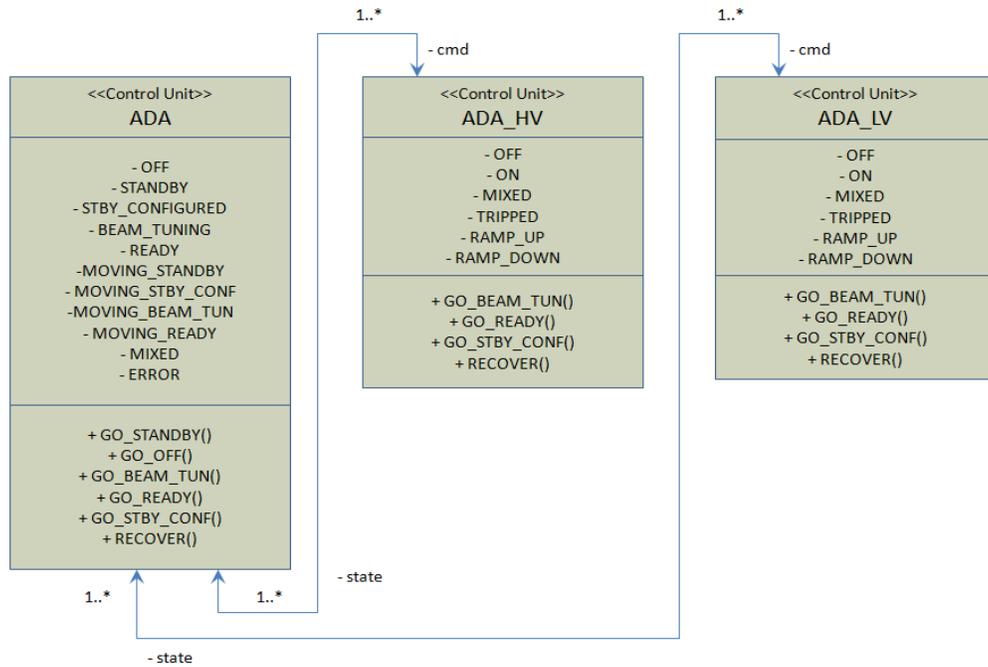


Figura 46. Diagrama de clase UML de la CU ADA

En las figuras 47 y 48 se muestran ejemplos de las interfaces de usuario del DCS de AD para control y monitoreo del alto voltaje en los sub-detectores ADC y ADC, respectivamente.

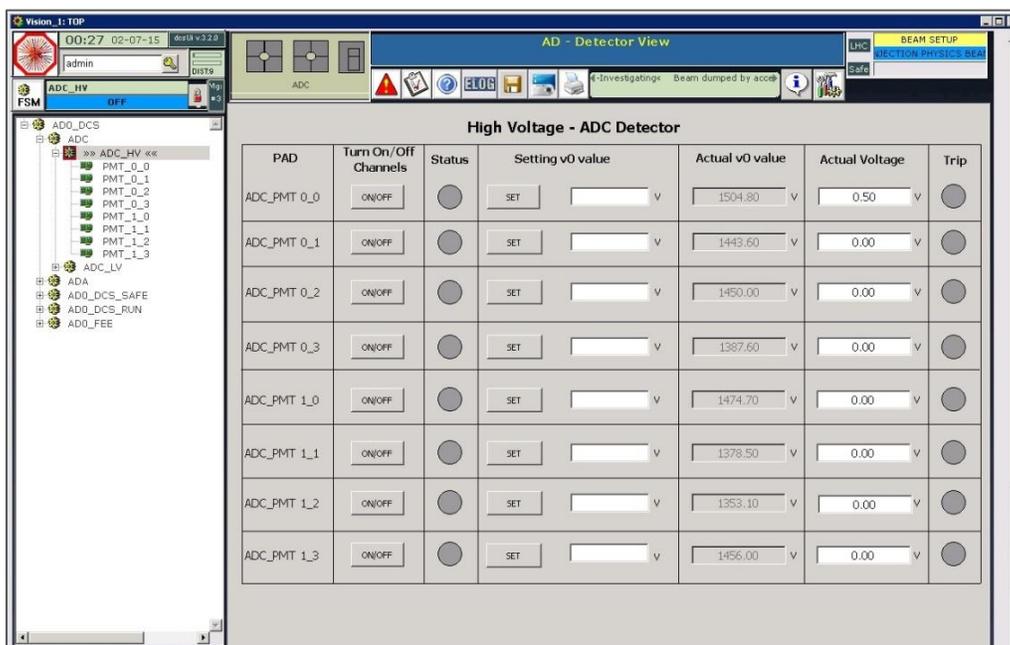


Figura 47. Interfaz de usuario del nodo ADC\_HV del DCS del sub-detector ADC

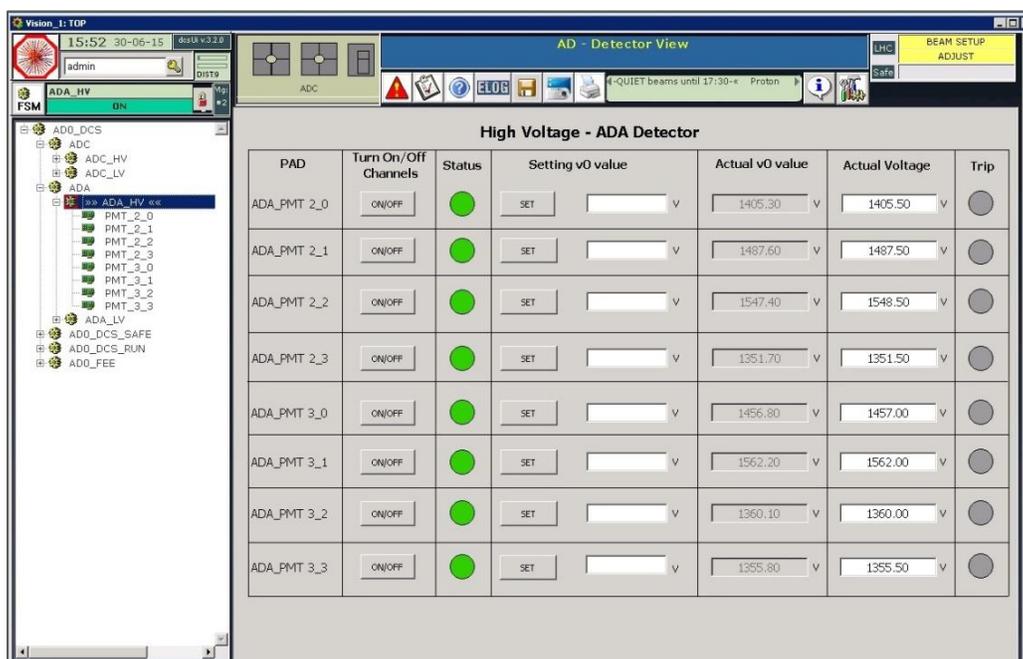


Figura 48. Interfaz de usuario del nodo ADA\_HV del DCS del sub-detector ADA

En cada uno de los canales individuales de alto voltaje de estas interfaces de usuario es posible:  
a) encender/apagar, b) monitorear el estado actual, c) conocer, definir, y activar nuevos valores

en el voltaje ( $v_0$ ) del PMT, d) mostrar el valor actual de voltaje por PMT, y e) visualizar si el canal presentó un estado de sobre-corriente (*trip*).

Las figuras 49 y 50 muestran las interfaces de usuario del DCS de AD para control y monitoreo de los bajos voltajes en los sub-detectores ADC y ADA, respectivamente. En estos paneles de usuario es posible monitorear cada uno de los canales de bajo voltaje del detector AD. Además, es posible encender/apagar de manera simultánea los tres canales de bajos voltaje por sub-detector, para evitar que el nodo de bajo voltaje se mueva al estado MIXED.

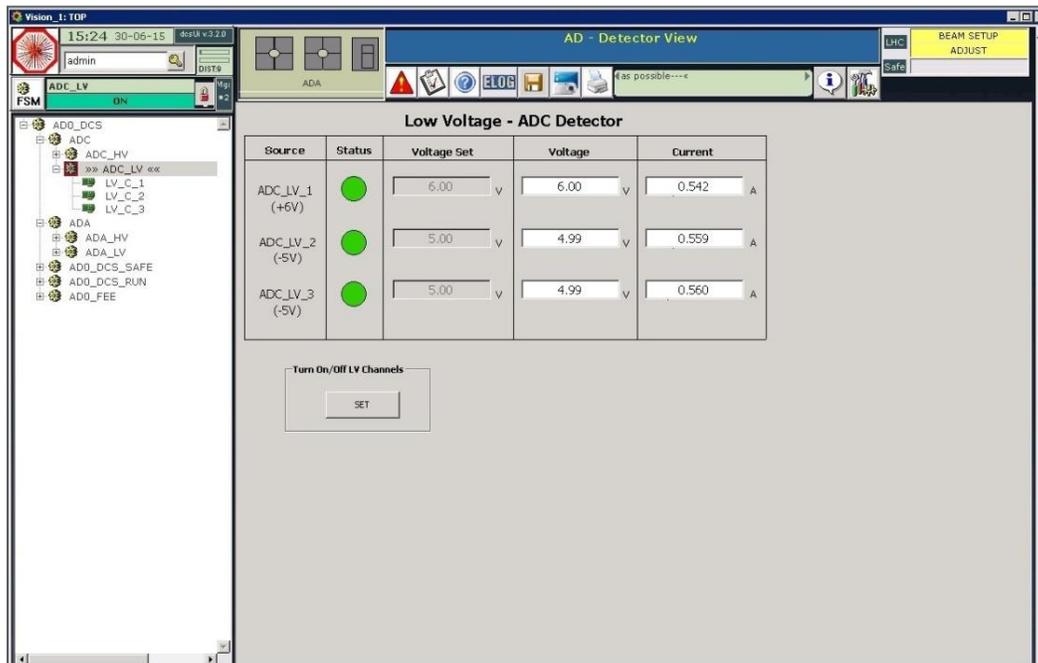


Figura 49. Interfaz de usuario del nodo *ADC\_LV* del DCS del sub-detector ADC

La figura 51 presenta paneles de control FSM de los subsistemas de alto voltaje en los sub-detectores ADC y ADA, respectivamente. En cada uno de estos paneles, se aprecian los ocho canales de alto voltaje que controlan; los cuales se encuentran especificados por la nomenclatura del PMT correspondiente.

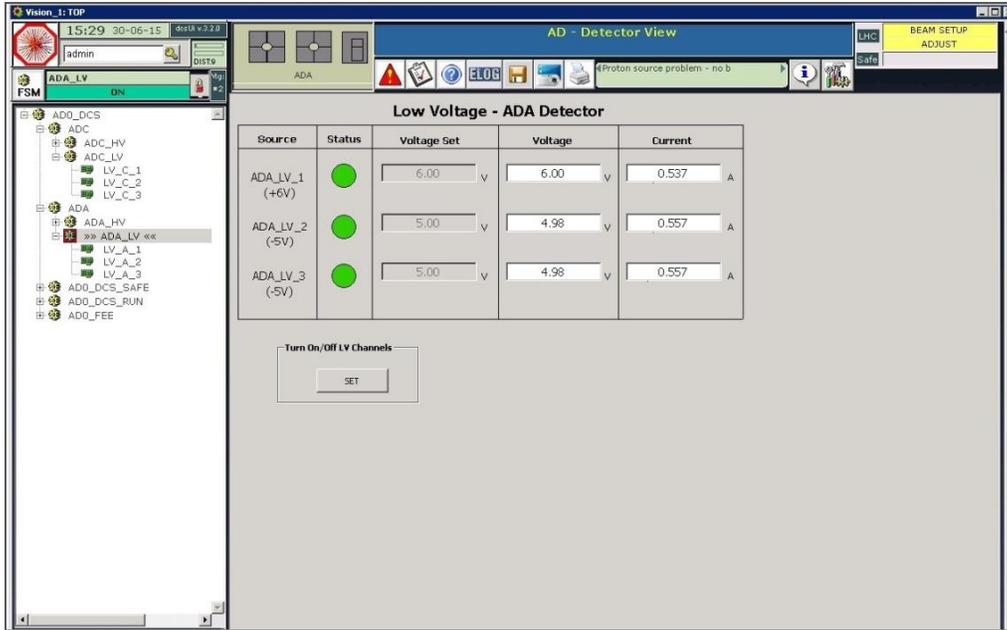
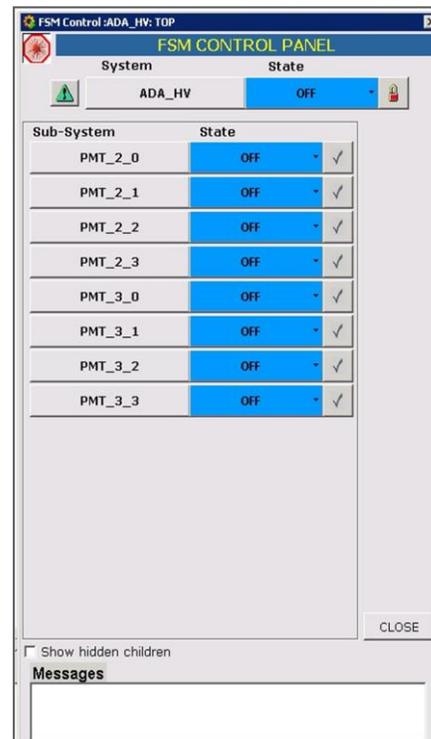


Figura 50. Interfaz de usuario del nodo ADA\_LV del DCS del sub-detector ADA



a)



b)

Figura 51. Paneles de control FSM del subsistema de HV de los sub-detectores: a) ADC y b) ADA

La figura 52 muestra paneles de control FSM de los subsistemas de bajo voltaje en los sub-detectores ADC y ADA. En cada uno de paneles de control FSM de los sistemas ADC\_LV y ADA\_LV, se aprecian los tres canales de bajo voltaje que controlan; los cuales se encuentran numerados de acuerdo con el canal de la fuente de bajo voltaje con la que alimentan los amplificadores PASA.

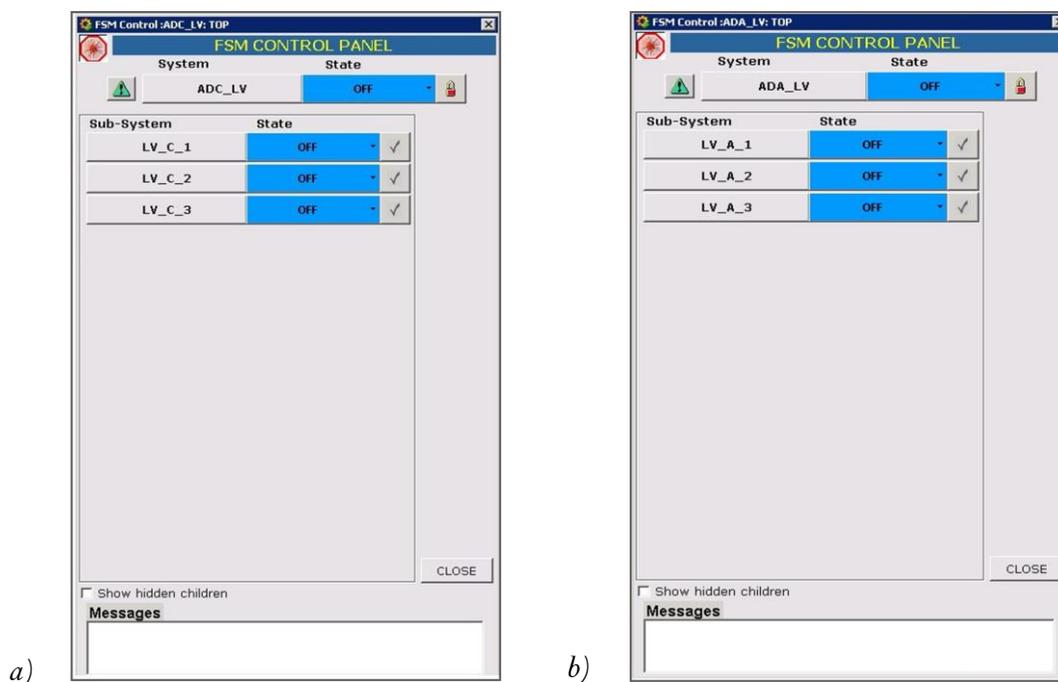


Figura 52. Paneles de control FSM del subsistema de bajo voltaje de los sub-detectores: a) ADC, y b) ADA

### 6.5.5 Canales de alto y bajo voltaje en el DCS del sub-detector ADC

El sub-detector ADC posee ocho canales individuales en el subsistema de alto voltaje para alimentar a los PMTs; así como tres canales individuales en su subsistema de bajo voltaje para alimentar a los amplificadores PASA. El diagrama de árbol FSM de los canales individuales de alto y bajo voltaje del DCS del sub-detector ADC se muestra en la figura 53. En los subsistemas de alto y bajo voltaje del DCS de AD, los canales individuales son unidades de dispositivo (DU), debido a que sus estados dependen de y sus acciones actúan sobre un elemento de hardware. Asimismo, los canales individuales de alto y bajo voltaje poseen el mismo diagrama de estados para modelar su funcionamiento; únicamente que para evitar posibles confusiones, las unidades

de dispositivo implementadas en software son definidas individualmente con diferente nombre: *FwCaenChannel* para altos voltajes y *FwCaenChannel\_lv* para bajos voltajes. La figura 54 muestra el diagrama de estado común para modelar el comportamiento de los canales individuales de alto y bajo voltaje en DCS del detector AD.

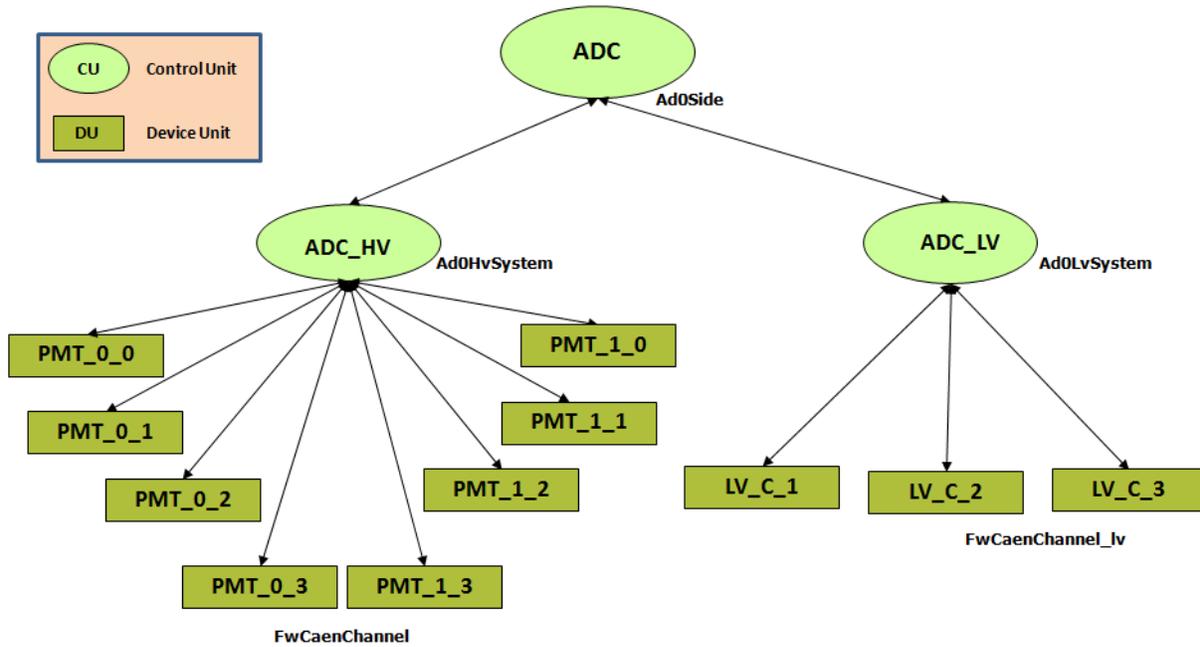


Figura 53. Diagrama de árbol FSM de los canales de alto y bajo voltaje del sub-detector ADC

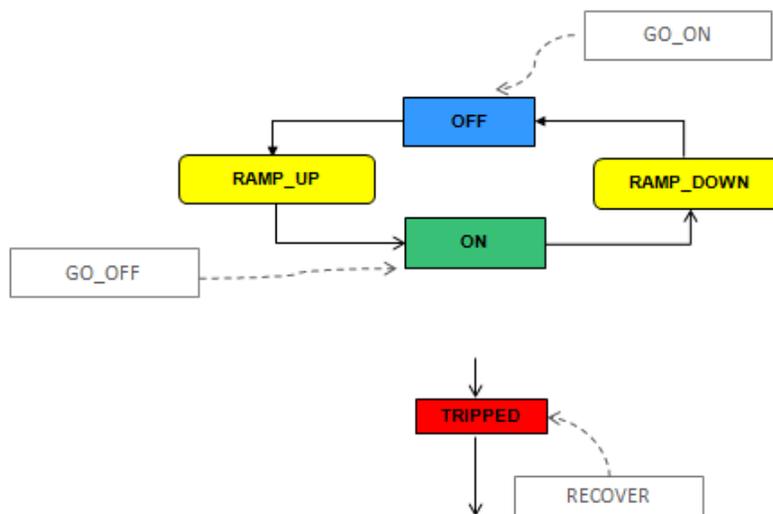


Figura 54. Diagrama de estado FSM de los canales individuales de alto y bajo voltaje del detector AD

La definición de las clases FSM para los canales individuales de alto voltaje de los sub-detectores ADC y ADA es la misma en ambos, las cuales, como ya se dijo, son unidades de dispositivo. La programación de los canales de HV en SMI++ se describe a continuación:

```
FwCaenChannel
STATE: OFF
    ACTION: GO_ON
STATE: ON
    ACTION: GO_OFF
STATE: RAMP_UP
STATE: RAMP_DOWN
STATE: TRIPPED
    RECOVER
```

De igual forma, la definición de las clases para los canales individuales de bajo voltaje de los sub-detectores ADC y ADA se definió de la misma forma en ambos, las cuales también son unidades de dispositivo. La programación de los canales de LV en SMI++ se describe a continuación:

```
FwCaenChannel_lv
STATE: OFF
    ACTION: GO_ON
        RAMP_DOWN
        RAMP_UP
STATE: ON
    ACTION: GO_OFF
STATE: TRIPPED
    ACTION: RECOVER
```

Las figuras 55 y 56 muestran los diagramas de clase UML correspondientes a los subsistemas de alto voltaje (ADC\_HV) y bajo voltaje (ADC\_LV) y a sus canales individuales, respectivamente. En estas figuras se pueden apreciar los estados y acciones de los nodos principales para cada subsistema de voltaje (alto y bajo), los cuales son definidos como unidades de control. En tanto que los canales individuales para ambos voltajes (PMT para alto y LV\_C para bajo) están definidos como unidades de dispositivo.

Las figuras 57 y 58 presentan ejemplos de las interfaces de usuario donde se muestran los canales individuales de los altos y bajos voltajes pertenecientes al sub-detector ADC, respectivamente. En estos paneles es posible visualizar numérica y gráficamente el comportamiento del voltaje y la corriente en función del tiempo en cada canal individualmente.

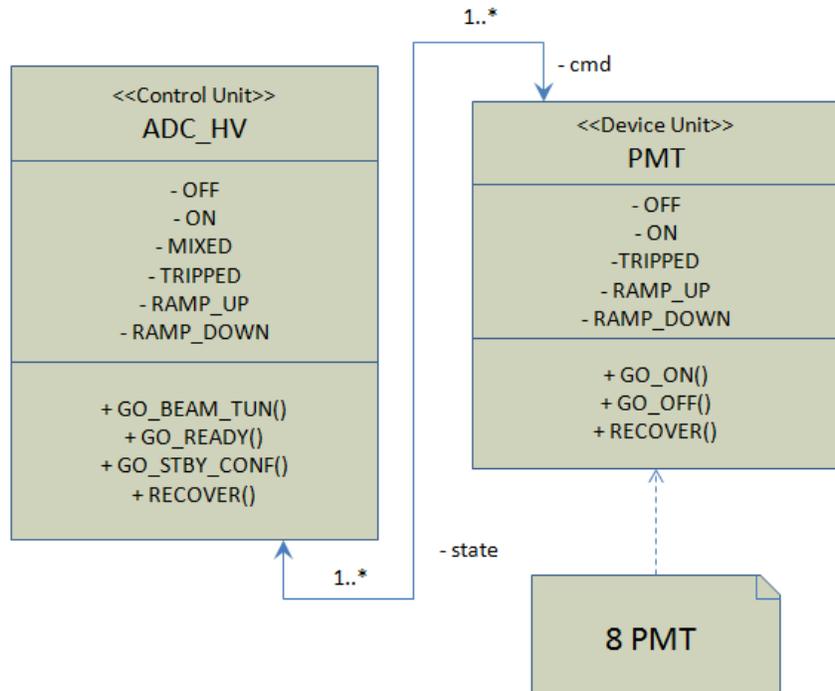


Figura 55. Diagrama de clase de los canales individuales de alto voltaje en el sub-detector ADC

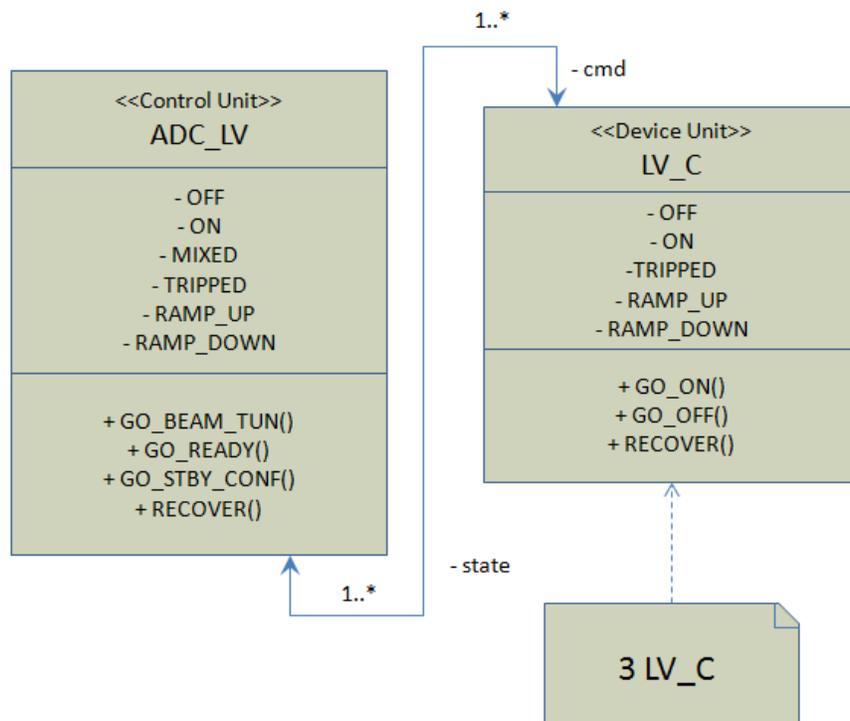


Figura 56. Diagrama de clase de los canales individuales de bajo voltaje en el sub-detector ADC

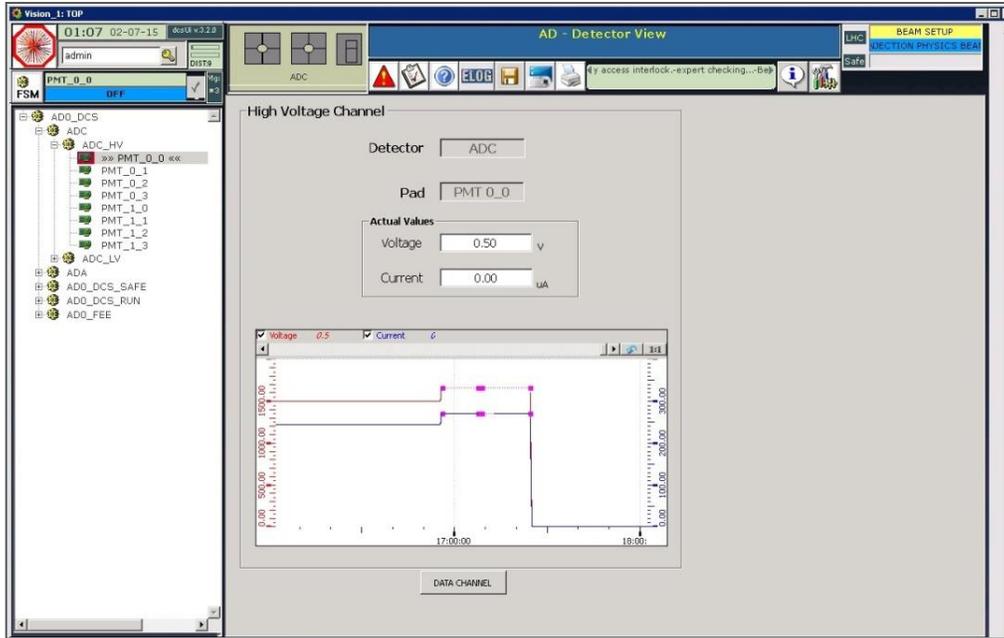


Figura 57. Interfaz de usuario de un canal individual de alto voltaje del sub-detector ADC

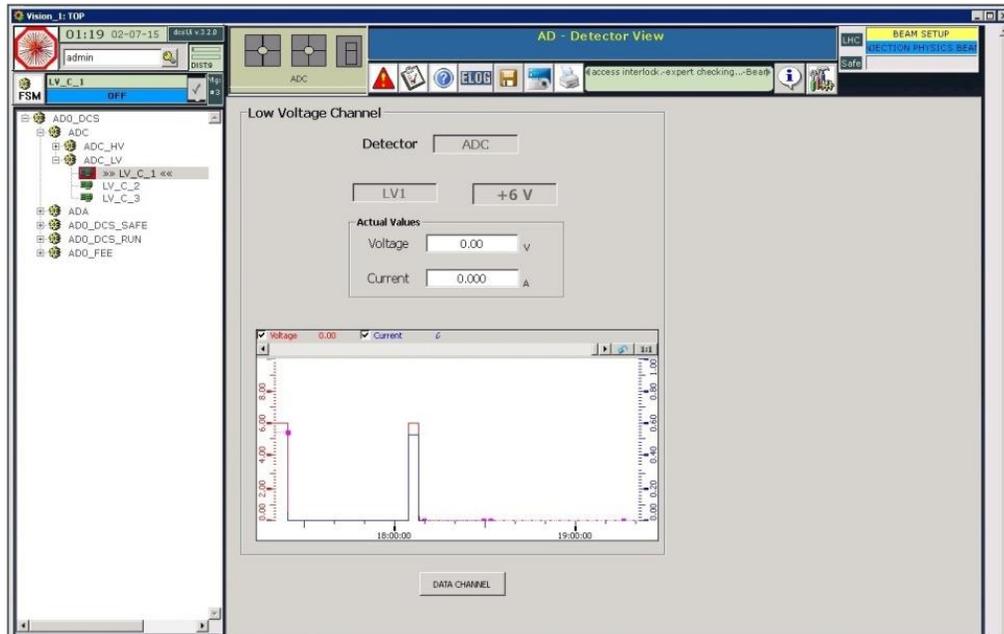


Figura 58. Interfaz de usuario de un canal individual de bajo voltaje del sub-detector ADC

La figura 59 muestra ejemplos de paneles de control FSM del DCS de un canal individual de alto y bajo voltaje del sub-detector ADC; los cuales pueden encenderse u apagarse por medio de estos

paneles. Evidentemente estos nodos ya no poseen nodos hijos pues se trata de unidades de dispositivo que están en la capa más baja de control, la capa de campo.

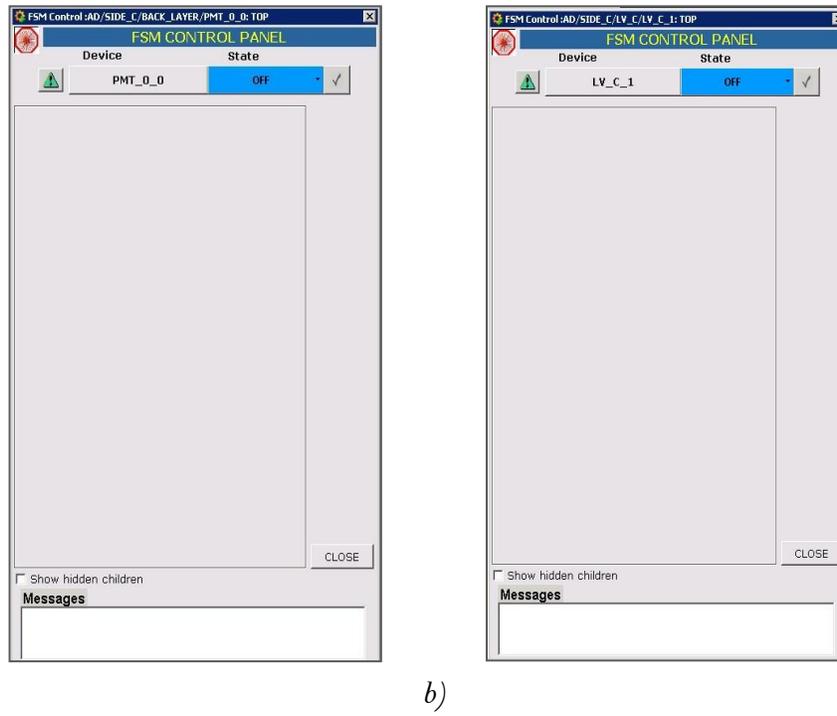


Figura 59. Paneles de control FSM de un canal individual de: a) alto, y b) bajo voltaje del sub-detector ADC

### 6.5.6 Canales de alto y bajo voltaje en el DCS del sub-detector ADA

Al igual que el sub-detector ADC, el sub-detector ADA tiene ocho canales individuales en su subsistema de alto voltaje para alimentar a los PMTs; así como también tres canales individuales en su subsistema de bajo voltaje para alimentar a los amplificadores PASA. El diagrama de árbol FSM de los canales individuales de alto y bajo voltaje del DCS del sub-detector ADA, se muestra en la figura 60. Como se había señalado, la configuración en SMI++ de los canales individuales de alto y bajo voltaje es la misma en ambos detectores. De igual forma, la definición de los diagramas de clase UML para bajo y alto voltaje en el sub-detector ADA son idénticas a las mostrada en el sub-detector ADC (véase las figuras 55 y 56); con la única diferencia de que los nodos principales fueron definidos como ADA\_HV y ADA\_LV para alto y bajo voltaje, respectivamente.

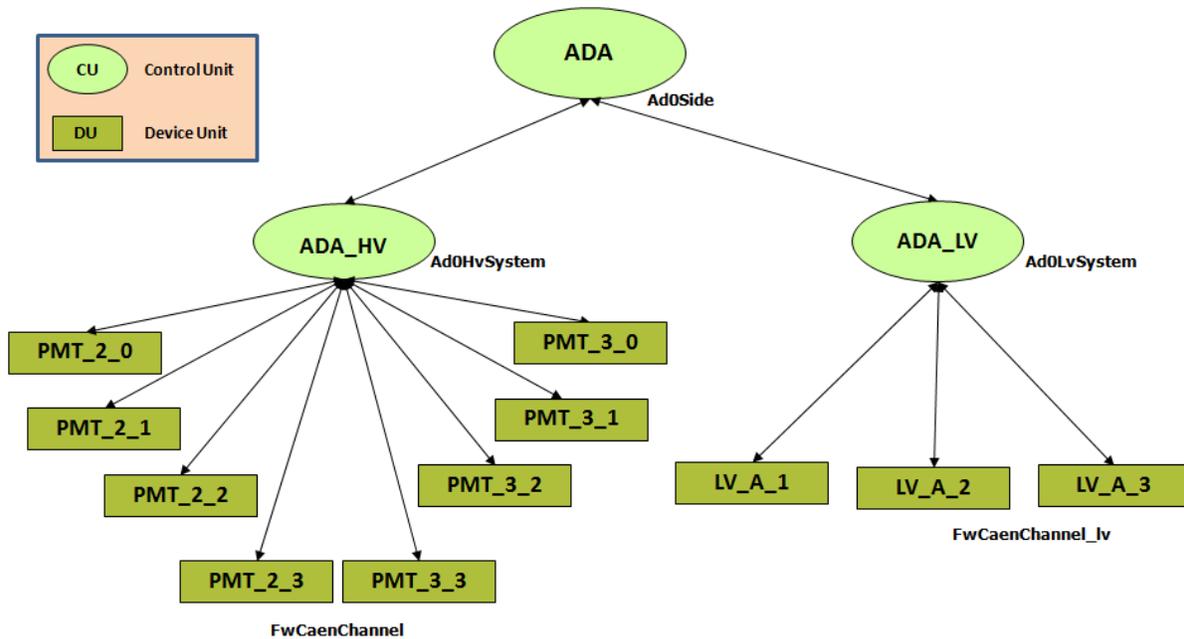


Figura 60. Diagrama de árbol FSM de los canales de alto y bajo voltaje del sub-detector ADA

## 6.6 Implementación de los Elementos de Hardware, Lógicos y FSM

Las unidades de control (CU) y lógica (LU) FSM son entidades de software que monitorean los estados de sus hijos y reporta el estado general a su nodo padre. En tanto que las unidades de dispositivo (DU) FSM son entidades que monitorean el estado del hardware. Los DUs también reportan algunos estados generales a su padre. Los DUs realizan el mapeo entre los estados del hardware y el estado de la FSM a través de los llamados datapoints (DPs) de WinCC-OA® [54-55]. Un DP es la unidad básica de información en WinCC® que puede almacenar un solo valor dado (nivel de voltaje, temperatura, estado de un dispositivo, nombre o dirección de red del mismo, etc.). WinCC-OA® conecta los DPs con dispositivos externos a través de los controladores y protocolos de comunicación entre la computadora y los dispositivos para que el valor de los primeros se actualice automáticamente al cambiar el estatus de los segundos.

La funcionalidad para implementar FSM está completamente integrada en el *Framework JCOP*, y en ésta no es posible usar los DPs de WinCC-OA® directamente; en vez de ello, se definen primero modelos lógicos de los dispositivos de hardware que reflejen la estructura física de los mismos.

Esto se hace mediante la herramienta del Framework llamada Device Editor Navigator (DEN); la cual ofrece una interfaz de usuario, mediante un panel de WinCC, con tres vistas: Hardware, Logica y FSM. (Ver figura 62).

En la vista Hardware es en donde primeramente se define un modelo del dispositivo que se quiere controlar mediante el DCS. Cada *parte* de este modelo se asocia a un DP y éste se *conecta* a la parte correspondiente del dispositivo real a través del controlador del mismo.

### 6.6.1 Vista de Hardware (Hardware View)

Una vez conocidas las características de los dispositivos de hardware que conforman al detector AD, así como el número y tipo de canales de lectura, es necesario crear un modelo lógico de cada uno de ellos en el DEN en WinCC-OA®. En las figuras 61 y 62 se muestra el ejemplo de la fuente de alto voltaje CAEN y sus respectivas tarjetas de alto y bajo voltaje descritas en la sección 4.4.

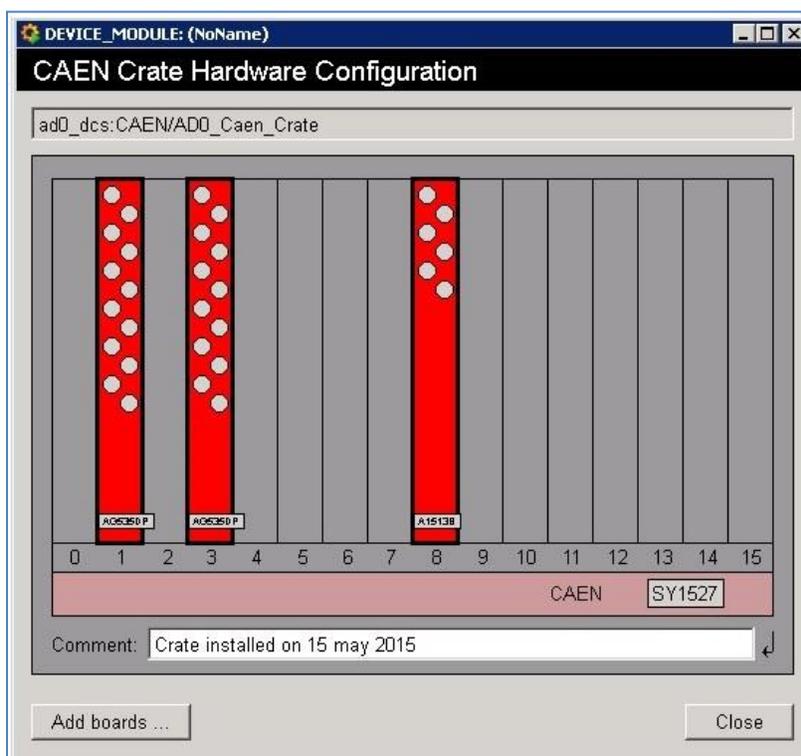


Figura 61. Vista de la configuración de hardware del crate CAEN del detector AD en el DEN

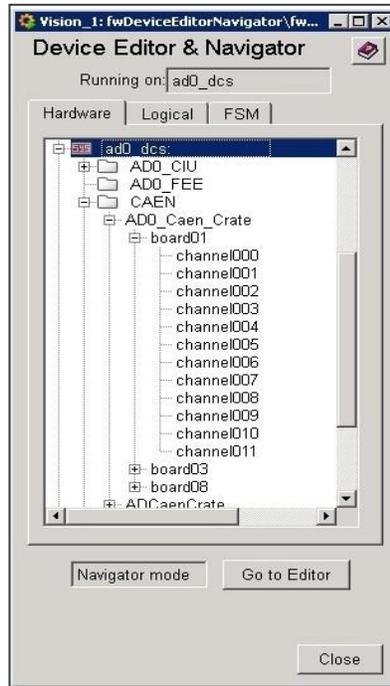


Figura 62. Panel de definición de los elementos de hardware del detector AD en el DEN

En el panel del DEN, concretamente en el apartado de vista de hardware, se encuentra el sistema de control del detector AD bajo el nombre de *ad0\_dcs*. Ahí, se declaró la fuente de alimentación CAEN modelo SY1527, en el que se especificó el nombre y modelo del *crate*; en este caso *ADO\_Caen\_Crate*. Como parte de ella se crearon los tipos de tarjetas de alto y bajo voltaje en el software, conforme a su ubicación física en el *crate* CAEN. En el caso de estas tarjetas se especifica: a) nombre único, b) modelo de la tarjeta, c) canales activos, y d) número de ranura de colocación en el *crate*; como se aprecia en la tabla VIII. Aquí, en el *hardware view*, en realidad se configuran todos los canales de cada tarjeta. Luego, cuando se construye la vista lógica, es cuando sólo se usan algunos de ellos.

Tabla VIII. Configuración de las tarjetas y canales de voltaje en la vista de hardware del DEN del DCS

Nombre de la tarjeta	Tipo de Voltaje	Modelo	Canales activos	No. Ranura
board01	Alto	AG535DP	channel000 - channel007	1
board03	Alto	AG535DP	channel000 - channel007	3
board08	Bajo	A1513B	channel000 - channel005	8

## 6.6.2 Vista Lógica (*Logical View*)

En esta vista puede construirse una estructura lógica de los dispositivos, diferente a la que existe entre ellos físicamente (la cual está ya de manifiesto en la vista de Hardware). Esto permite tener una visión que represente mejor la estructura física del detector. Para ello se puede insertar cualquier elemento de la vista de Hardware en cualquier posición de la estructura lógica con un nombre alternativo o alias.

La declaración de una jerarquía lógica en el DE, tiene una gran ventaja respecto a la definición de elementos por hardware. Esta ventaja consiste en que cuando un canal se daña, es posible reasignar el nombre lógico (*alias*) para apuntar a un canal de hardware diferente; de esta manera es posible restaurar más rápidamente el funcionamiento del detector con otro canal de hardware activo. La figura 63 muestra la configuración de la jerarquía lógica propuesta en el sub-detector ADC (*SIDE\_C*) y el sub-detector ADA (*SIDE\_A*). Debe recordarse que, como se mencionó en la sección 6.4, el diseño de la arquitectura del DCS se eligió orientada a detector. De ahí que esta jerarquía lógica difiera drásticamente de la vista de hardware de los dispositivos mostrada en la sección 6.6.1.

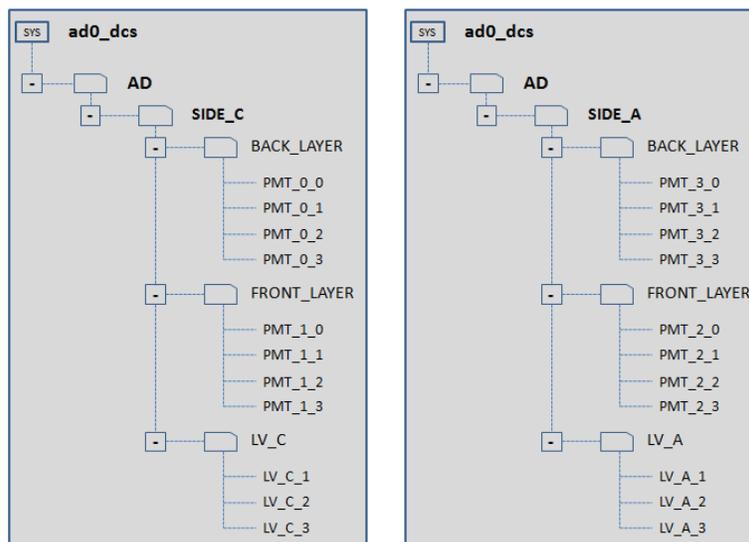


Figura 63. Jerarquía de los elementos lógicos definida para los sub-detectores ADC y ADA

Las figuras 64 y 65 muestran parte de las configuraciones en la vista lógica del DEN que se realizaron para el sistema de control del detector AD y sus sub-detectores, respectivamente.

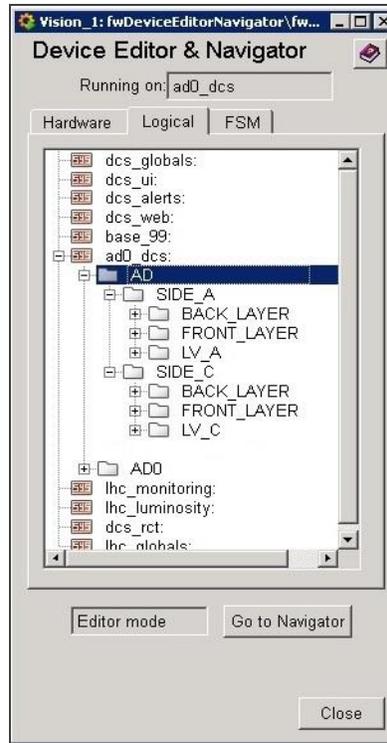


Figura 64. Panel de definición de los elementos lógicos del detector AD en el DEN

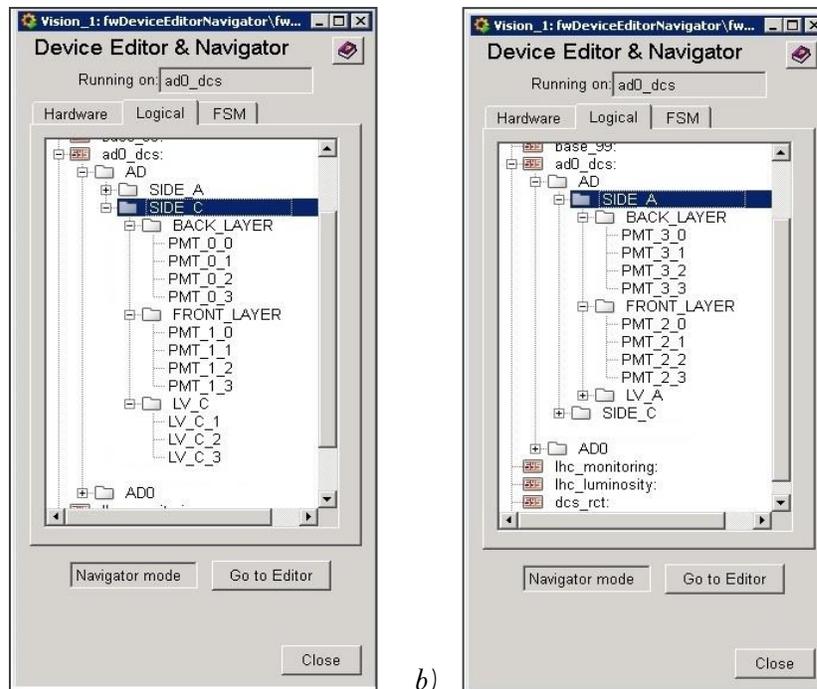


Figura 65. Paneles de definición lógica de los canales de alto y bajo voltaje en el DEN para los sub-detectores: a) ADC, y b) ADA

### 6.6.3 Vista FSM (FSM View)

Es en esta vista del DEN donde se crea la estructura jerárquica del DCS (figura 29) mediante las unidades de control y de dispositivo. También aquí se definen las clases de FSM. Mediante el botón *Create/Configure FSM Object Types* (ver figura 66) se accede otro panel donde se crean las FSM, se definen éstas como unidades de control o de dispositivo y se programa su comportamiento.

La definición de las clases FSM que son declaradas como CUs difiere significativamente de aquellas que son declaradas como DUs. En el caso de clases FSM para CUs deben especificarse, para cada una: a) una lista de estados y las acciones correspondientes a cada estado, b) código de cada acción (es decir, las acciones que la clase enviará a sus objetos hijos), y c) la lista condicional que sincroniza el cambio de estado de la clase con los cambios de estado de sus hijos, denominada *When List* [54-55].

En cambio, las clases FSM para DUs no modelan objetos puramente lógicos (como en el caso de una CU) sino objetos que representan los dispositivos reales. Estas clases deben tomar en cuenta

que sus estados y acciones estarán ligados a estos dispositivos. Para especificar el tipo de dispositivo (o parte del mismo) que modelará una clase para DU se le asocia, al momento de crearla, con un tipo de *datapoint* (que, como se dijo, es la forma en que WinCC-OA se comunica con los dispositivos físicos). Así, es posible definir los parámetros del dispositivo que determinarán los estados y las acciones de la DU. Para cada clase de DU se definen los siguientes elementos: a) lista de estados (*State List*) y la condición, sobre algún parámetro del dispositivo, que determina a cada uno de ellos, b) acciones correspondientes en cada estado; especificando, para cada acción, el parámetro del dispositivo que cambiará, c) nombre del tipo de datapoint (DPT, *Datapoint Type*) correspondiente a la clase, y d) tipo de configuración del dispositivo (*Configure Device*).

Una vez que se crearon y definieron las clases FSM para CUs y DUs, se define el esquema de árbol de la arquitectura jerárquica del DCS. La figura 66 muestra parte de la arquitectura jerarquía de las unidades FSM del DCS de los sub-detectores ADC y ADA. Cada CU o DU de este árbol fue añadida al mismo en el nivel deseado como una instancia (objeto) de alguna de las clases de FSM previamente definidas.

Para las DU es necesario especificar el dispositivo que modelarán eligiéndolo de los disponibles en la vista Lógica o en la de Hardware. De acuerdo con la figura 66, se observa que del nodo superior FSM denominado ADO\_DCS (definido como una unidad de control) se desprenden a su vez dos unidades de control: ADC y ADA. El nodo ADC contiene las unidades ADC\_HV y ADC\_LV, y el nodo ADA a las unidades ADA\_HV y ADA\_LV. Posteriormente, en cada de estas unidades lógicas se insertaron las unidades de dispositivo correspondientes, las cuales fueron elegidas de la vista Lógica (aunque también es posible insertar dispositivos de la vista de Hardware, como ya se mencionó, definir alias de la vista Lógica ofrece la ventaja de flexibilidad cuando es necesario usar un dispositivo alterno por alguna razón) mediante sus alias únicos. Finalmente, en los nombres de las DUs (indicadas mediante un óvalo marcado) puede notarse que se incluye la ruta completa de los alias elegidos de la vista Lógica (véase la figura 66).

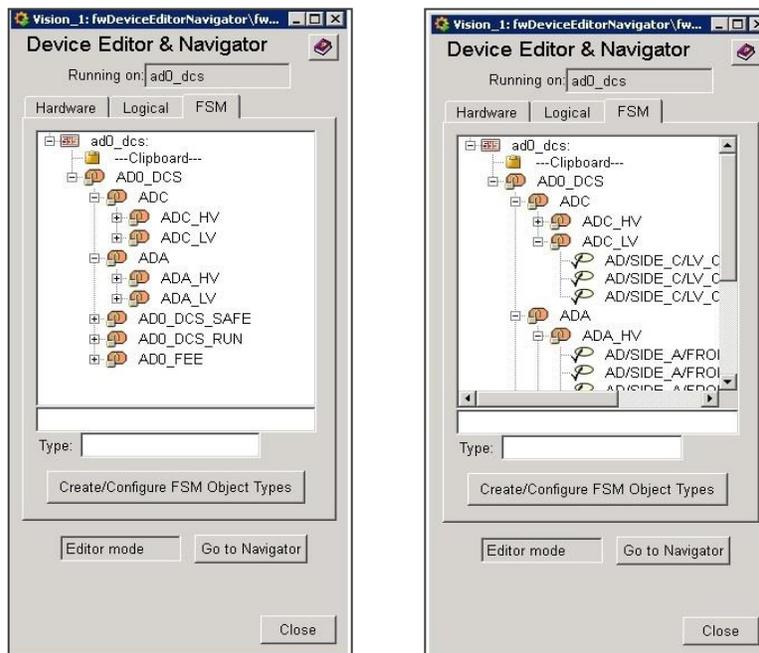


Figura 66. Paneles de la arquitectura jerárquica FSM en el DEN del DCS de los sub-detectores ADC y ADA

## 6.7 Configuraciones Adicionales

### 6.7.1 Alarmas de Temperatura

Durante la operación de las fuentes de alimentación, tarjetas de voltaje, *crates* de la electrónica, tarjetas de adquisición y control de datos, y demás dispositivos electrónicos; un elemento de riesgo muy importante a considerar es el incremento de la temperatura. Factores como una mala circulación del aire, una inadecuada temperatura ambiental en el cuarto de control CR4, sobre voltajes o sobre corrientes, pueden provocar que la temperatura se incremente considerablemente en estos dispositivos; lo que generaría daños irreversibles en sus componentes electrónicos, y por ende repercutir negativamente en el funcionamiento directo y desempeño del detector.

En el caso del detector AD, se están monitoreando en todo momento, las variaciones de temperatura del *crate* VME de la marca Wiener y sus tres tarjetas electrónicas insertadas. Los rangos de temperatura en el *crate* VME y las condiciones de alarma generadas en cada uno de ellos son definidos en el software WinCC-OA®, y se muestran en la tabla IX.

*Tabla IX. Rango de temperatura y niveles de severidad de las alarmas crate VME Wiener*

Rango de Temperatura (°C)	Condición de la alarma	Tipo de alarma
0 – 39	Not Alarm	NA
40 – 49	Warning	_FwWarningAck
50 – 59	Error	_FwErrorAck
≥ 60	Fatal	_FwFatalAck

La tabla X presenta los rangos de temperatura y sus condiciones de alarma correspondientes a las tres tarjetas electrónicas de la FEE (CCIU y CIU) insertadas en el *crate VME Wiener*, que son configurados en el sistema de control del detector.

*Tabla X. Rango de temperatura y niveles de severidad de las alarmas en las tarjetas de la FEE*

Rango de Temperatura (°C)	Condición de la alarma	Tipo de alarma
0 – 59	Not Alarm	NA
60 – 70	Warning	_FwWarningAck
71 – 76	Error	_FwErrorAck
≥ 76	Fatal	_FwFatalAck

### **6.7.2 Gráficas de tendencias de temperatura**

La temperatura del *crate VME Wiener* y las tarjetas de alto y bajo voltaje marca CAEN, son elementos claves que requieren estarse monitoreando en todo momento por parte del operador; ya que de ellos depende el desempeño del sistema de control y de adquisición de datos del detector AD. Por tal motivo, el operador puede visualizar las gráficas de tendencia de estos parámetros en el DCS del detector AD, véase la figura 67.

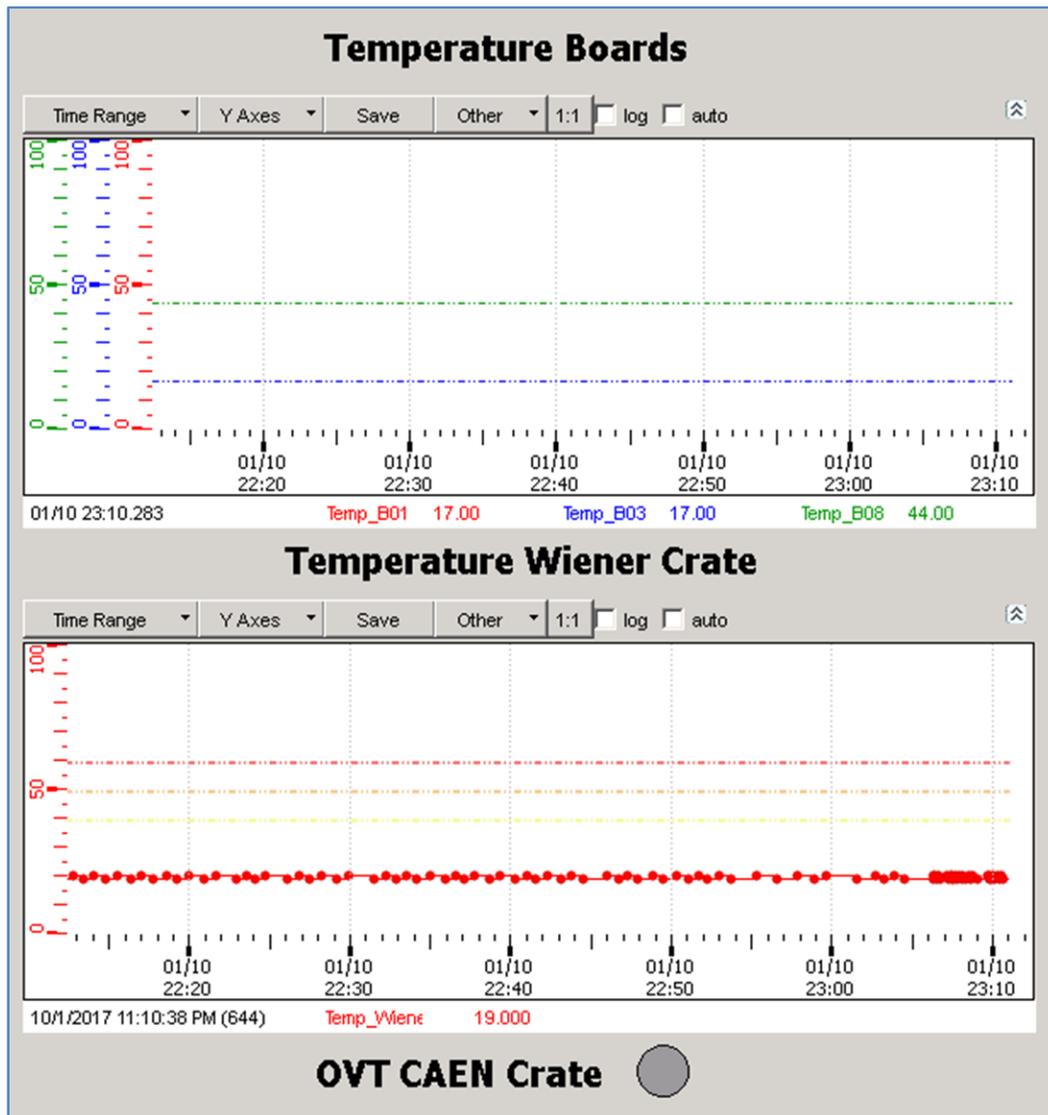


Figura 67. Gráficas de temperatura del crate Wiener y las tarjetas electrónicas

### 6.7.3 Registro histórico (*archiving*) de parámetros relevantes

Para la correcta operación del detector AD, el DCS tiene que almacenar una gran cantidad de datos que permitan saber, a posteriori, las condiciones de operación del detector en cualquier fecha y hora pasados. Esta información incluye valores de parámetros relevantes para monitorear el estatus del detector y otros sistemas, por lo que es almacenada en una colección de bases de datos; cada una de ellas optimizada para su uso particular, todo ello alojado en un servidor de bases de datos denominado Clúster de Aplicación Real (RAC, *Real Application Cluster*) ORACLE

en el sitio del experimento [6]. Estos datos también incluyen toda la información adquirida durante su operación; sin embargo, la recuperación de estos datos es complicada cuando se intenta desde fuera de WinCC-OA®. La principal razón es que el sistema de control es distribuido y su acceso requiere de un conocimiento detallado de su estructura. Para resolver esas limitaciones se utiliza la denominada base de datos para condiciones fuera de línea (OCDB). Esta almacena los datos esenciales para un análisis fuera de línea, además de proporcionar un fácil acceso y un mecanismo de recuperación [74-78]. La interfaz entre la OCDB y el registro histórico de WinCC-OA® es implementada por el equipo central como un administrador (*manager*) de WinCC-OA® dedicado [2].

Todos los parámetros relevantes del sistema de control de AD son almacenados para su análisis fuera de línea (*offline*). Estos datos almacenados permiten la reconstrucción de los datos generados por el detector en las corridas, así como la calibración del mismo. Entre estos parámetros se incluyen: corrientes y voltajes de HV y LV para canales individuales, temperaturas, parámetros de la electrónica (FEE), principalmente. En la tabla XI se muestra la relación de los parámetros particulares de los canales individuales de HV y LV con sus respectivos *datapoint*, y *alias* que son enviados a almacenamiento (*archiving*).

Tabla XI. Relación de DPEs y sus Alias de los canales individuales de HV y LV enviados al archiving

Data Point Element (DPE)	Alias
ad0_dcs:CAEN/ADO_Caen_Crate/board0[1-3]/channel00[0...7].actual.vMon	ADO/HV/PM [0...15]
ad0_dcs:CAEN/ADO_Caen_Crate/board0[1-3]/channel00[0...7].actual.iMon	ADO/HV/Imon [0...15]
ad0_dcs:CAEN/ADO_Caen_Crate/board08/channel00[0...2].actual.iMon	ADO/LV/Imon_A [1...3]
ad0_dcs:CAEN/ADO_Caen_Crate/board08/channel00[3...5].actual.iMon	ADO/LV/Imon_C [1...3]

En la tabla XII se presenta la relación de DPEs del proyecto del software SCADA WinCC-OA y sus respectivos *alias* pertenecientes a los parámetros de la tarjeta CCIU de la FEE del detector AD que son enviados para su almacenamiento (*archiving*).

Tabla XII. Relación de DPEs y sus alias de los parámetros de la tarjeta CCIU de la FEE

Datapoint-element (dpe)	Alias
ad0_dcs:ADO_CIU/CTP_CCIU.MinimumBiasADAThreshold	ADO/FEE/CCIU/BBAThreshold
ad0_dcs:ADO_CIU/CTP_CCIU.MinimumBiasADCThreshold	ADO/FEE/CCIU/BBCThreshold
ad0_dcs:ADO_CIU/CTP_CCIU.BeamGasADAThreshold	ADO/FEE/CCIU/BGAThreshold
ad0_dcs:ADO_CIU/CTP_CCIU.BeamGasADCThreshold	ADO/FEE/CCIU/BGCThreshold

ad0_dcs:AD0_CIU/CTP_CCIU.BBAForBeamGasTriggerThreshold	AD0/FEE/CCIU/BBAForBGThreshold
ad0_dcs:AD0_CIU/CTP_CCIU.BBCForBeamGasTriggerThreshold	AD0/FEE/CCIU/BBCForBGThreshold
ad0_dcs:AD0_CIU/CTP_CCIU.MultiplicityTriggerADAThresholdHigh	AD0/FEE/CCIU/MultADAThrHigh
ad0_dcs:AD0_CIU/CTP_CCIU.MultiplicityTriggerADAThresholdLow	AD0/FEE/CCIU/MultADAThrLow
ad0_dcs:AD0_CIU/CTP_CCIU.MultiplicityTriggerADCThresholdHigh	AD0/FEE/CCIU/MultADCThrHigh
ad0_dcs:AD0_CIU/CTP_CCIU.MultiplicityTriggerADCThresholdLow	AD0/FEE/CCIU/MultADCThrLow
ad0_dcs:AD0_CIU/CTP_CCIU.TriggerSelect[1...5]	AD0/FEE/CCIU/TriggerSelect[1...5]

## Capítulo 7

# Análisis de Desempeño, Conclusiones y Trabajo Futuro

### 7.1 Análisis de Desempeño del detector AD

En este apartado se presentan los resultados de un análisis que pretende evaluar el desempeño y el impacto en la operación del experimento ALICE del DCS del detector AD durante las corridas de los años 2015, 2016 y parte del 2017, pertenecientes a la llamada *Run 2* del LHC. Se muestran comparaciones gráficas de los principales parámetros de desempeño de los DCS de los detectores y sistemas de ALICE en los tipos de corridas para toma de datos físicos, rayos cósmicos e individuales (*standalone*). Cabe mencionar que el análisis de datos en los años 2015 y 2016 fue completo, desde los meses de marzo a diciembre. En tanto que en el año 2017 abarcó únicamente del mes de marzo hasta el mes de agosto, fecha de escritura de esta tesis. Asimismo, se utilizó la herramienta *ALICE Electronic Logbook (eLogbook)* [96, 105] para recopilar la información presentada en este capítulo.

Para interpretar el análisis presentado es importante primeramente conocer que el acelerador LHC proporciona haces que circulan y producen colisiones en el mismo por muchas horas antes de ser desechados para comenzar de nuevo el proceso de aceleración; estos *ciclos* de operación se denominan *inyecciones (fills)*. Las sesiones de tomas de datos se dividen en corridas (*runs*), que se definen como los periodos de tiempo donde existe una toma de datos continua, las cuales pueden durar desde unos cuantos minutos a hasta varias horas [106-107].

### 7.1.1 Parámetros de desempeño del DCS a evaluar

El sistema de control de ALICE debe proporcionar un monitoreo y operación constantes del detector, tanto durante la toma de datos como en las paradas del LHC; así como seguridad. Este análisis es una primera aproximación para evaluar cuantitativamente la ejecución de las tareas principales del DCS. Asimismo, es una manera de conocer el impacto y relevancia del sistema de control del detector (DCS) en el desempeño del detector AD y, en general, del experimento ALICE.

Los parámetros evaluados para medir el desempeño del DCS del detector AD en corridas físicas, y su comparación con los demás detectores de ALICE durante 2015, 2016 y 2017 son:

- Número de corridas en las que se participó
- Duración total de la toma de datos físicos
- Eficiencia de la toma de datos (DTE) del experimento y los detectores
- Número de terminación de corridas (EOR) de los detectores y sistemas
- Procedimiento Pausa y Reconfiguración (PAR) ejecutados, exitosos y fallidos

Enseguida se presenta una breve descripción de algunos de los parámetros a evaluar:

#### A. Eficiencia de la Toma de Datos (DTE)

El parámetro de la eficiencia de la toma de datos de ALICE es una métrica muy importante para cuantificar el éxito de la toma de datos del experimento. El DTE por inyección (*fill*) se calcula utilizando la siguiente fórmula [108]:

$$E_{fill} = \frac{\sum(Rd - Rp)}{Fsb - Fusb} \cdot 100$$

Donde:

- *Rd*: duración de la corrida, dada por la diferencia en segundos entre el tiempo de inicio y de terminación de una corrida registrado por el sistema de disparo del experimento (*trigger*).
- *Rp*: duración de la pausa de una corrida, periodo en segundos durante una corrida en la cual la toma de datos estuvo pausada.

- *Fsb*: tiempo durante el cual los haces fueron declarados como estables en una inyección (*fill stable beams duration*), definido como la diferencia en segundos entre la declaración de la condición de haces estables y la finalización de la inyección (*fill*).
- *Fusb*: duración de los haces estables inutilizados en una inyección; periodo durante una inyección (*fill*) en el cual, incluso si han sido declarados como estables, los haces del LHC no fueron utilizados para la toma de datos.

## B. Terminación de una Corrida (EOR, End Of Run)

El hecho de que exista una alta y constante incidencia de EORs durante la toma de datos en el experimento, repercute directamente en una ineficiencia de la operación del mismo. Por lo cual es importante registrar las situaciones normales en que sucede un EOR (por ejemplo, cambio en la configuración de la señal de disparo (*trigger*), cambio en la configuración de la partición) o anormales (por ejemplo: disparo (*trip*) de un alto voltaje) para realizar un proceso estadístico de los subsistemas que están provocando los diversos EORs y sus causas puntuales. Debido a lo anterior, el *eLogbook* de ALICE incluye en un metadato de la corrida, la causa particular de la terminación de la misma, denominada Razón de la Terminación de la Corrida (*End-Of-Run Reason*). Los tipos de causas de EOR identificados son:

- Terminación automática al inicio de una corrida: corridas que nunca alcanzan las fases de toma de datos.
- Terminación automática durante una toma de datos: corridas que fueron paradas automáticamente durante la fase de toma de datos.
- Manualmente parada durante la toma de datos: corridas que fueron paradas por el personal operativo del ALICE RCC durante la fase de toma de datos.

Finalmente, la fuente (*source*) de las EORs pueden tener los siguientes valores:

- ECS: Si una corrida es parada automáticamente debido a una situación anormal o a una situación normal incompatible con la toma de datos.
- OPERATOR: Si una parada se debe a la intervención manual del personal en turno.
- WEB: Si se ha sobrescrito una razón de EOR previamente insertada por medio de la interfaz gráfica del ALICE *eLogbook*.

## C. Procedimiento Pausa y Reconfiguración (PAR)

El grupo de trabajo del sistema central de adquisición de datos (DAQ) del experimento ALICE estableció un procedimiento denominado Pausa y Reconfiguración (PAR, *Pause And Reconfigure*) para [107-108]:

1. Monitoreo de los detectores para verificar su estado y eventualmente recuperarlos de ser necesario.
2. Recuperar los detectores individuales con funcionamiento anormal durante una corrida debido a mensajes en los datos, cambios de estado en el DCS o comandos enviados por el personal en turno (*shifters*) de ALICE.
3. Mantener las condiciones óptimas de operación de los detectores que están en una corrida.

### 7.1.2 Análisis de resultados de las corridas

#### a) Resultados de las Corridas de Adquisición de Datos Físicos (*Physics Runs*)

Este estudio de corridas físicas comprende colisiones: protón-protón (p-p), de iones plomo-plomo (Pb-Pb) y protón-plomo (p-Pb); para las que se analizaron las corridas e inyecciones de haz (*fills*) del LHC de los años 2015 (LHC15), 2016 (LHC16), y parte del 2017 (LHC17). La tabla XIII muestra las características generales de los filtros de búsqueda en el ALICE *Logbook* para seleccionar las corridas físicas durante LHC15, LHC16 y LHC17.

Tabla XIII. Características de los filtros de las corridas físicas seleccionadas en el ALICE *Logbook*

Año	LHC15	LHC16	LCH17
Haz (Beam)	Si	Si	Si
Tipo de Corrida	Física	Física	Física
Partición	PHYSICS_1	PHYSICS_1	PHYSICS_1
Modo del HLT	C	C	C
Duración de las corridas	> 10 minutos	> 10 minutos	> 10 minutos
Tiempo inicio del ECS	De 15/03/2015 A 20/12/2015	De 01/03/2016 A 20/12/2016	De 31/03/2017 A 31/08/2017
Tiempo final del ECS	De 15/03/2015 A 20/12/2015	De 01/03/2016 A 20/12/2016	De 31/03/2017 A 31/08/2017

La tabla XIV presenta un concentrado de las corridas físicas de los detectores de ALICE durante los años 2015, 2016 y parte del 2017.

Tabla XIV. Resultados generales de las corridas físicas de los detectores del experimento ALICE durante los años 2015, 2016 y 2017

Año	LHC15	LHC16	LHC17
No. de Inyecciones de Haz ( <i>Fills</i> )	86	162	105
Periodo de Inyecciones de Haz ( <i>Fills</i> )	i, j, k, l, n, o	h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t	c, d, e, f, g, h, i, j, k, l
No. de Corridas (Runs)	486	883	444
No. de Fin de Corridas (EORs)	504	901	453

Para las corridas físicas se eligió la partición denominada PHYSICS\_1 debido a que es la más representativa y significativa para este tipo de corridas en ALICE, al tener generalmente el mayor número de detectores y sistemas involucrados, como se muestra en la tabla XV. Nótese que en esta partición casi siempre se incluyen a la mayoría de los detectores.

Tabla XV. Listado de los sistemas en línea y detectores más recurrentes en la partición PHYSICS\_1 del experimento ALICE

Detectores			Sistemas en línea
ACO	AD	CPV	HLT
EMCal	FMD	HMPID	TRIGGER
MUON TRG	MUON TRK	PHOS	ECS/DAQ
SDD	SPD	SSD	
TO	TOF	TPC	DCS
TRD	V0	ZDC	

Es importante resaltar que los detectores pueden funcionar durante cada corrida como:

- a) Detector de Lectura (*Readout Detector*)
- b) Detector de Disparo (*Trigger Detector*)
- c) Detector de Disparo y Lectura (*Trigger & Readout Detector*)

Las figuras 68, 69 y 70 muestran las gráficas del número de corridas físicas en las que participaron los detectores de ALICE durante los años 2015, 2016 y 2017, respectivamente.

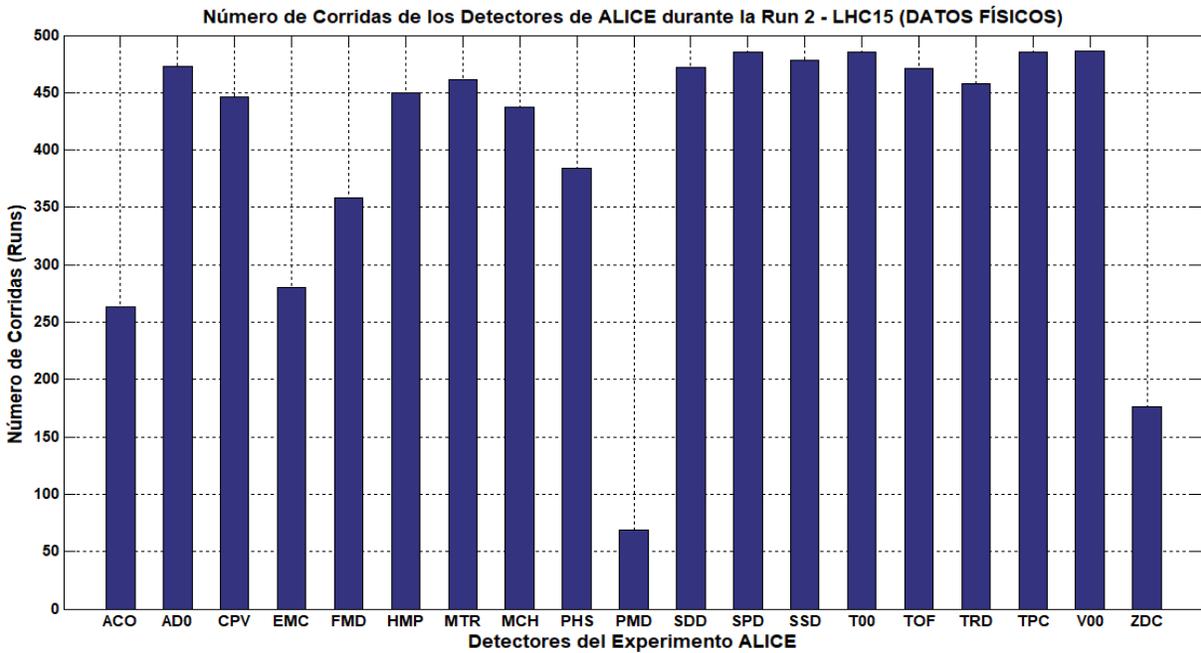


Figura 68. Gráfica del número de corridas físicas de los detectores del experimento ALICE durante el año 2015 (LHC15)

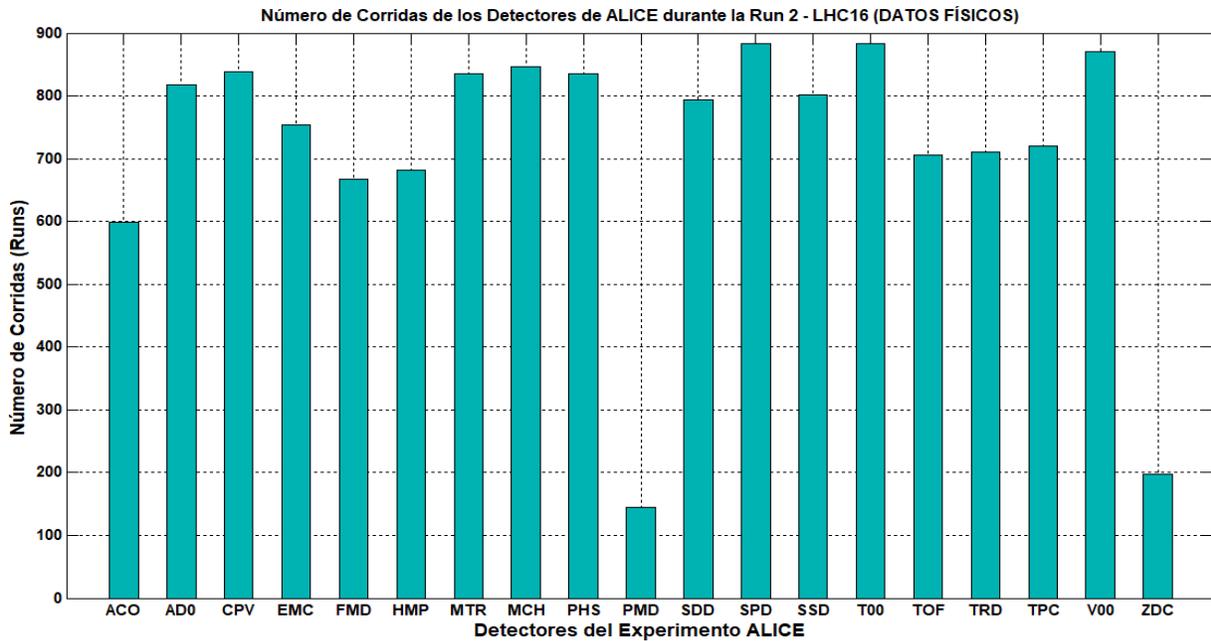


Figura 69. Gráfica del número de corridas físicas de los detectores del experimento ALICE durante el año 2016 (LHC16)

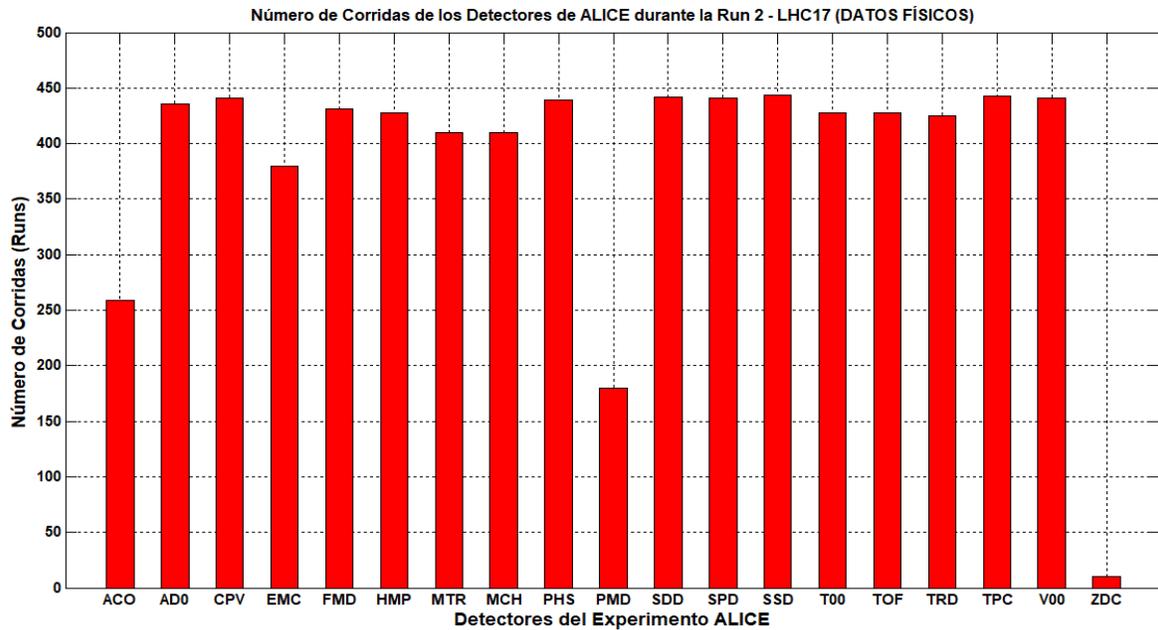


Figura 70. Gráfica del número de corridas físicas de los detectores del experimento ALICE durante el año 2017 (LHC17)

La figura 71 muestra la gráfica de duración total de las corridas físicas en las que participaron los detectores del experimento ALICE durante los años 2015, 2016 y parte de 2017.

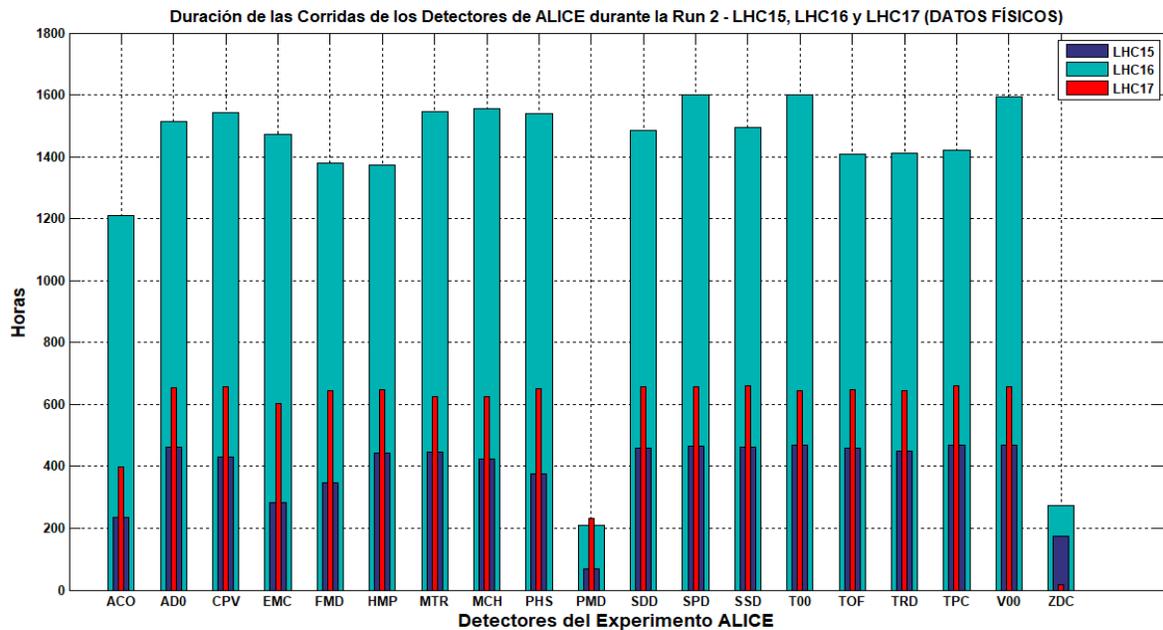


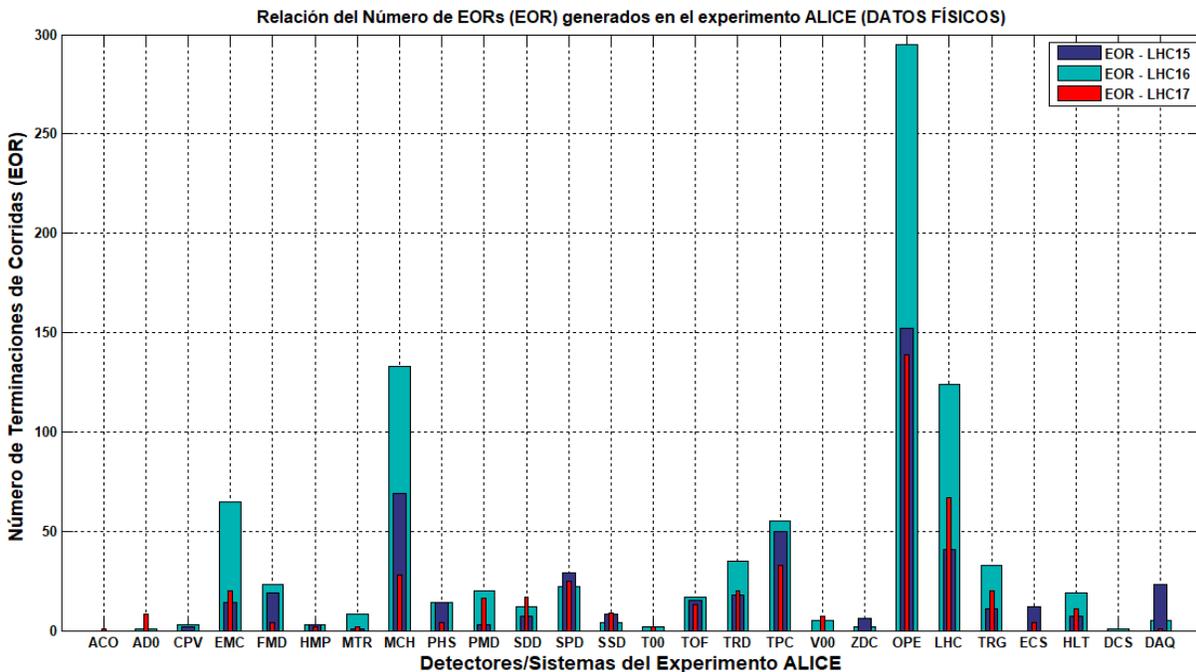
Figura 71. Gráfica de la duración total de las corridas físicas de los detectores del experimento ALICE durante los años 2015, 2016 y 2017

De acuerdo con las tres gráficas anteriores se puede concluir que el detector AD:

- Fue uno de los detectores del experimento ALICE que más veces participó en las corridas del LHC durante los años 2015, 2016 y 2017 para adquisición de datos físicos.
- A consecuencia de ello, este detector tiene un número de horas de operación durante las corridas LHC15, LHC16 y LHC17 para datos físicos muy semejante con respecto a los detectores que tomaron datos el mayor número de horas.
- En el año 2015 se realizaron mucho menos corridas que en el año 2016 debido a que en 2015 fue el inicio después de la parada larga 1 (LS1, *Long Shutdown* 1) del LHC, y se realizaron intervenciones tanto en los detectores como en el acelerador; lo que repercutió en un periodo de ajuste adicional con muchos fallos en el haz y en que las corridas se terminen prematuramente.
- Por la misma razón anterior, la duración promedio de una corrida en el año 2015 es de casi 1 hora, es menor a la duración promedio en los años 2016 y 2017 de casi 2 y 1.5 horas, respectivamente.

Otro de los parámetros que se analizó fue el número de terminaciones de corridas (EOR), los detectores y sistemas que las originaron, y las causas que generaron esas EORs. La figura 72 presenta la relación del número de EORs que generaron cada uno de los detectores y sistemas (internos y externos) durante las corridas físicas seleccionadas durante los años 2015, 2016 y 2017.

En la gráfica de la figura 72 se muestra una marcada tendencia de los detectores y sistemas que provocaron un alto número de paradas de corridas (EOR) durante la toma de datos físicos. Algunas de las EORs eran automáticas durante la toma de datos, y otras fueron realizadas por el operador debido a solicitudes explícitas o disturbios en los sistemas internos y externos del experimento.



*Figura 72. Gráfica de número de EORs originados por los detectores y sistemas en corridas de datos físicos durante los años 2015 2016 y 2017 en el experimento ALICE*

De manera global, los EORs generados por los sistemas de ALICE tiene como principales causas a:

- Detector ocupado (*Detector Busy*)
- Datos erróneos o Tiempo ocupado en alto (*Bad Data or High Busy Time*)
- Detector no listo (*Detector not ready*)
- Requerimiento de calibración del detector
- Error de Pausa y Reinicio (*Pause and Reset Error*)
- Error en el encabezado de los datos (*Error cdh*)
- Solicitud del experto
- Error de hardware
- Error de enlace
- Cambio en la configuración del trigger

En el caso de las EOR generados por los operadores (OPE) tiene como principales motivos a:

- Cambio en la estructura de la partición
- Cambio en la configuración del *Trigger*
- Estatus del LHC
- Reinicio solicitado por el Coordinador de Corridas (*Run Coordinator*)
- Error del operador
- Cambio en el modo del HLT

Para el caso del detector AD en corridas físicas, los EORs generados registrados en el ALICE *Logbook* a lo largo de estos tres años son solamente nueve: a) requerimiento de calibración del detector (1), b) datos erróneos o tiempo ocupado en alto (3), y c) a solicitud del experto en el detector (5).

Posteriormente se obtuvieron los valores de la eficiencia en la toma de datos para las corridas físicas del detector AD individualmente y del experimento ALICE (tomando en cuenta a todos los detectores) durante la Run 2 del LHC en los años 2015, 2016 y 2017, como se muestra en las figuras 73 a), 73 b) y 74, respectivamente.

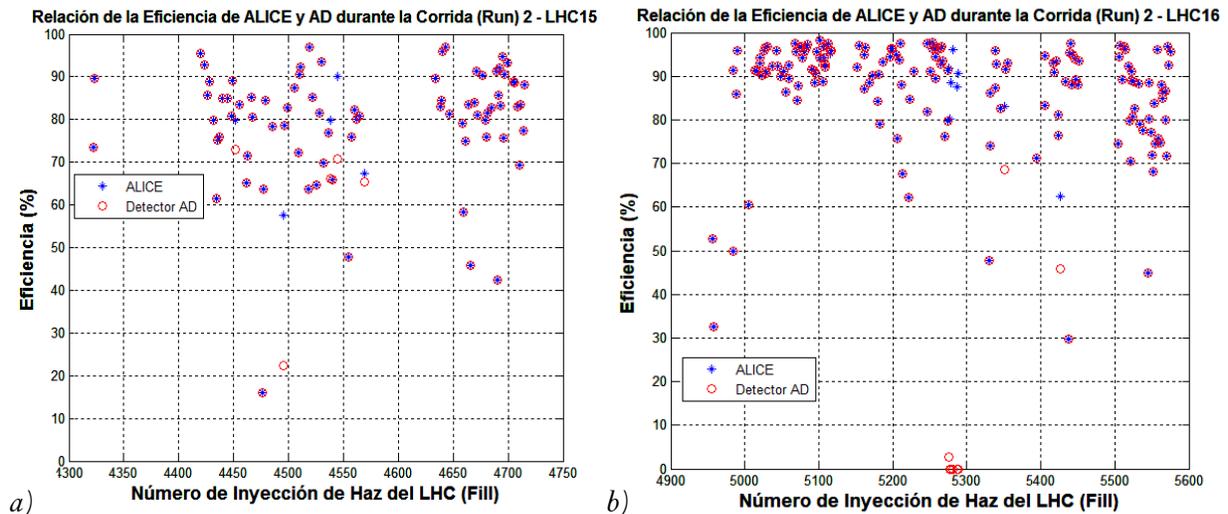


Figura 73. Gráficas comparativas de la eficiencia del experimento ALICE y detector AD para cada inyección de haz para las corridas físicas durante los años: a) 2015, y b) 2016.

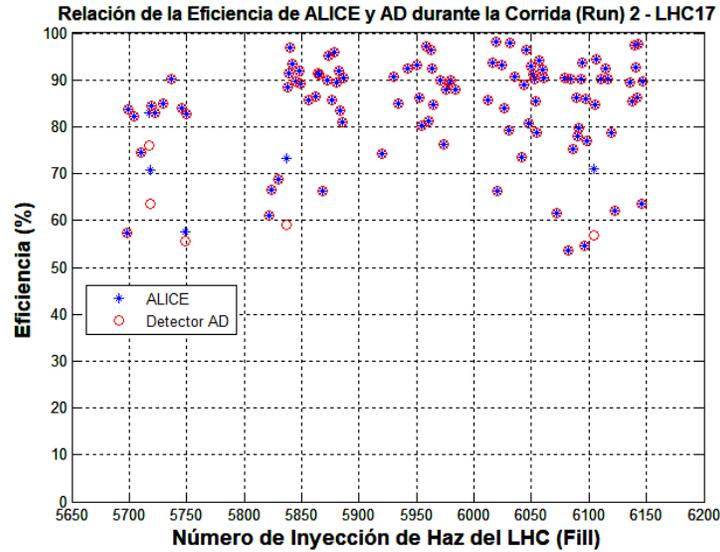


Figura 74. Gráfica comparativa de la eficiencia global del experimento ALICE y del detector AD para cada inyección de haz para las corridas físicas durante el año 2017

De acuerdo con los resultados de las gráficas comparativas de la eficiencia del experimento ALICE en general y del detector AD para las inyecciones (*fills*) del LHC (2015, 2016 y 2017), se aprecia que:

- Los resultados de la eficiencia del detector AD son muy similares en la gran mayoría de las inyecciones analizadas, comparadas con las eficiencias del experimento ALICE.
- Durante el periodo LHC16n se realizaron principalmente corridas especiales con la partición PHYSICS\_1 en donde no fue incluido AD; por lo que se aprecia en esas inyecciones de haz (*fills*) valores de eficiencia iguales a cero (véase la figura 73b).

Las figuras 75, 76 y 77 presentan la eficiencia y el porcentaje de participación en corridas (normalizado) de los detectores de ALICE en las corridas físicas realizadas durante 2015, 2016 y parte de 2017, respectivamente.

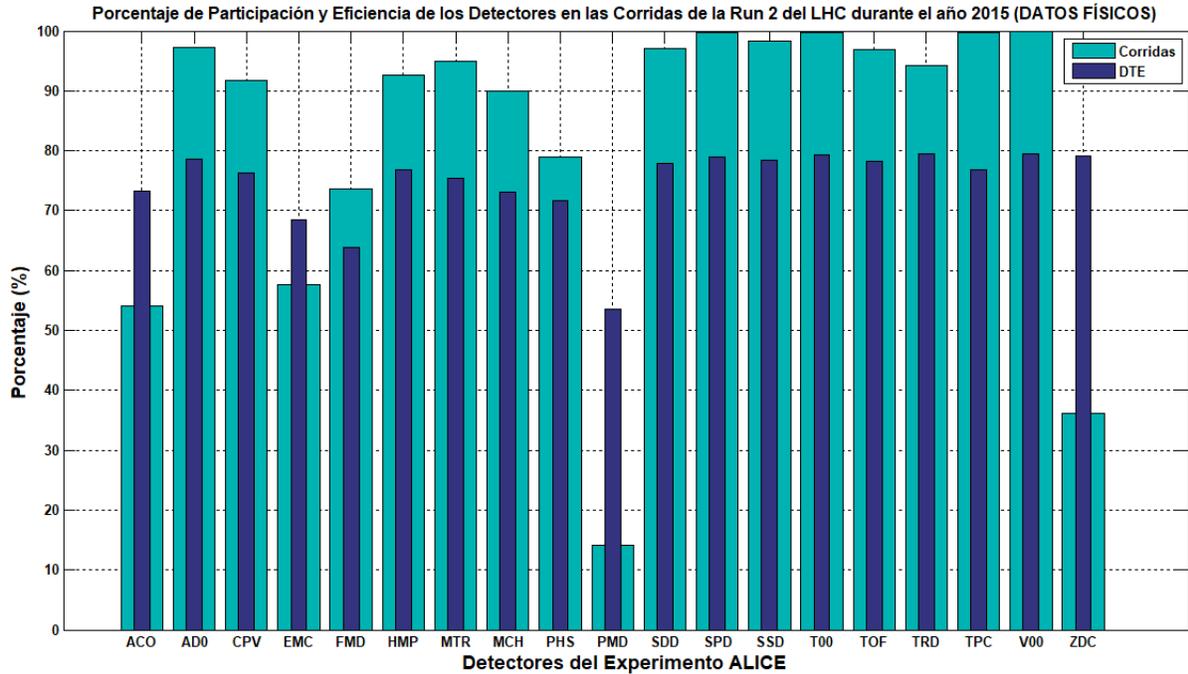


Figura 75. Porcentaje de participación en las corridas (normalizado) y eficiencia de los detectores en las corridas físicas de la Run 2 del LHC durante el año 2015

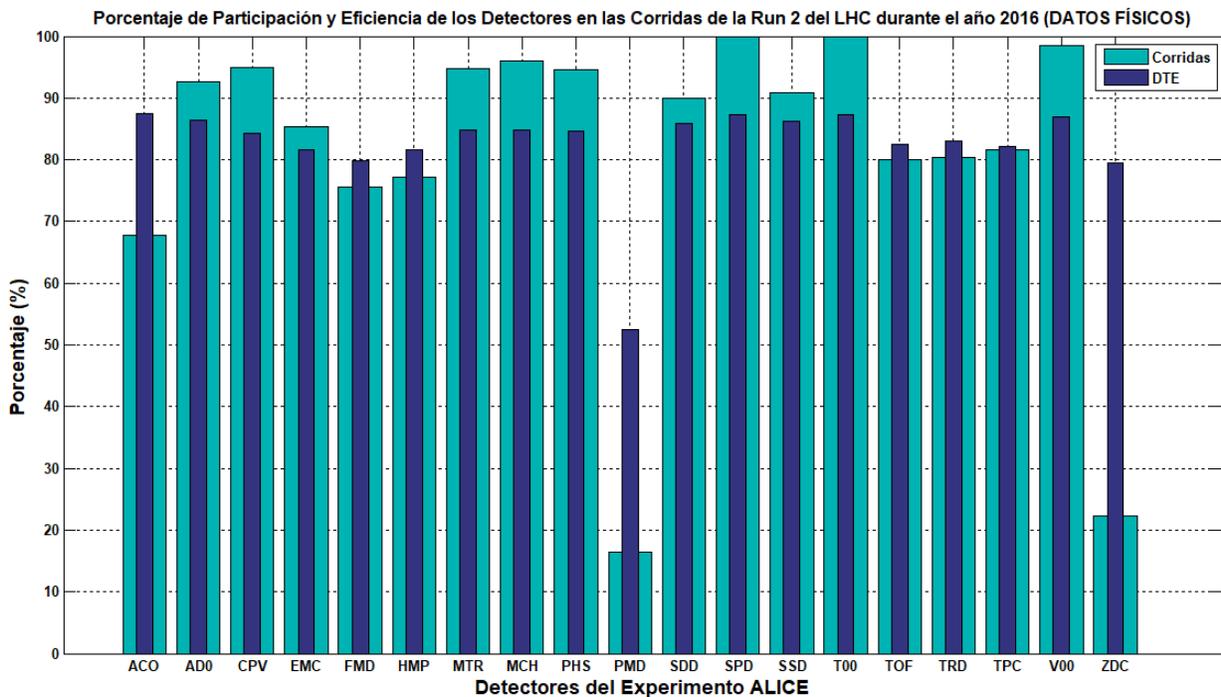


Figura 76. Porcentaje de participación en las corridas (normalizado) y eficiencia de los detectores en las corridas físicas de la Run 2 del LHC durante el año 2016

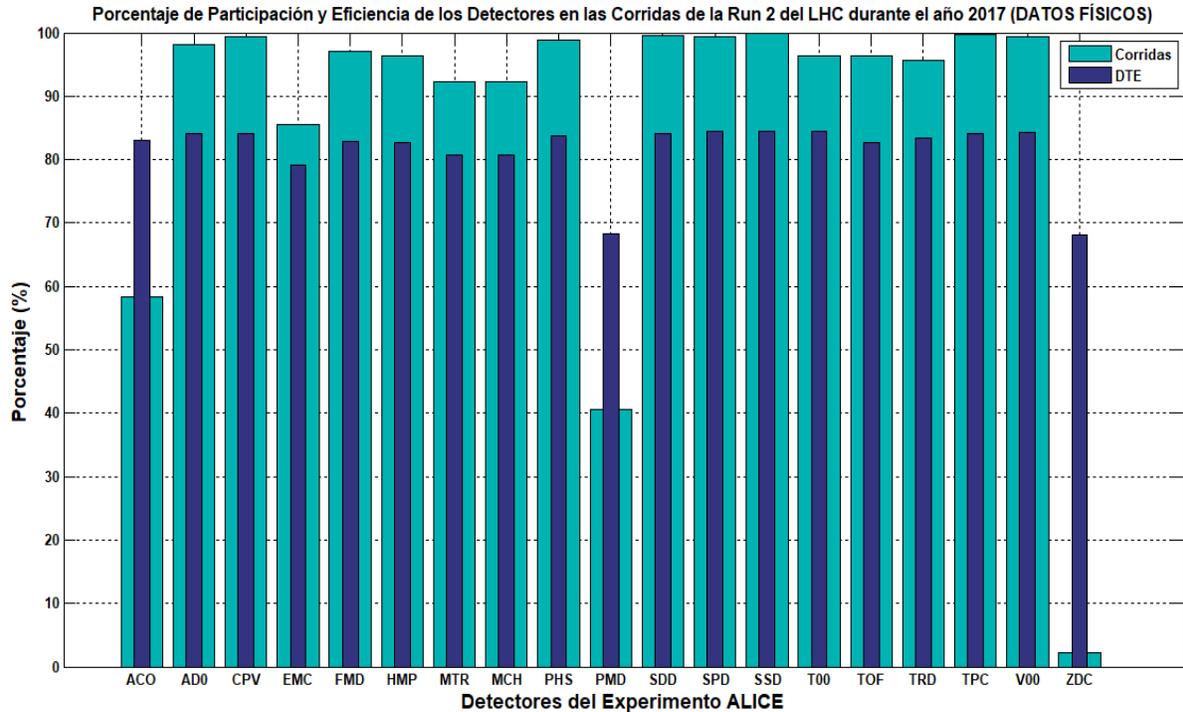


Figura 77. Porcentaje de participación en las corridas (normalizado) y eficiencia de los detectores en las corridas físicas de la Run 2 del LHC durante el año 2017

Las gráficas de las tres figuras anteriores muestran que el detector AD presenta un buen equilibrio entre la participación en corridas (normalizado) y la eficiencia de las corridas en las que participó durante los años 2015, 2016 y 2017, debido a que presentó altos valores de eficiencia y un elevado número de corridas en los que participó.

También se aprecia que algunos detectores tienen una eficiencia regular, pero su porcentaje de participación en las corridas es bajo; como son los casos de los detectores PMD y ZDC.

Las figuras 78, 79 y 80 muestran los diferentes resultados de los procedimientos PAR ejecutados, erróneos, y exitosos implementados en los detectores para las corridas físicas durante los años 2015, 2016 y parte del 2017.

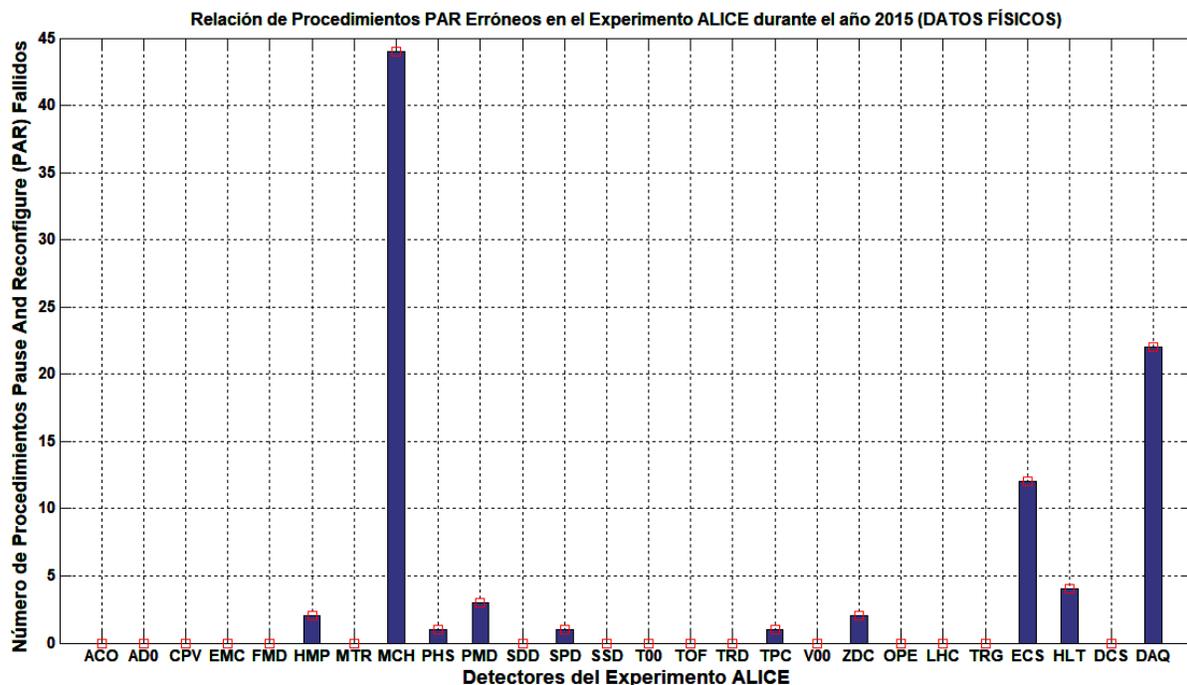


Figura 78. Relación de procedimientos PAR erróneos en el experimento ALICE de las corridas físicas del año 2015

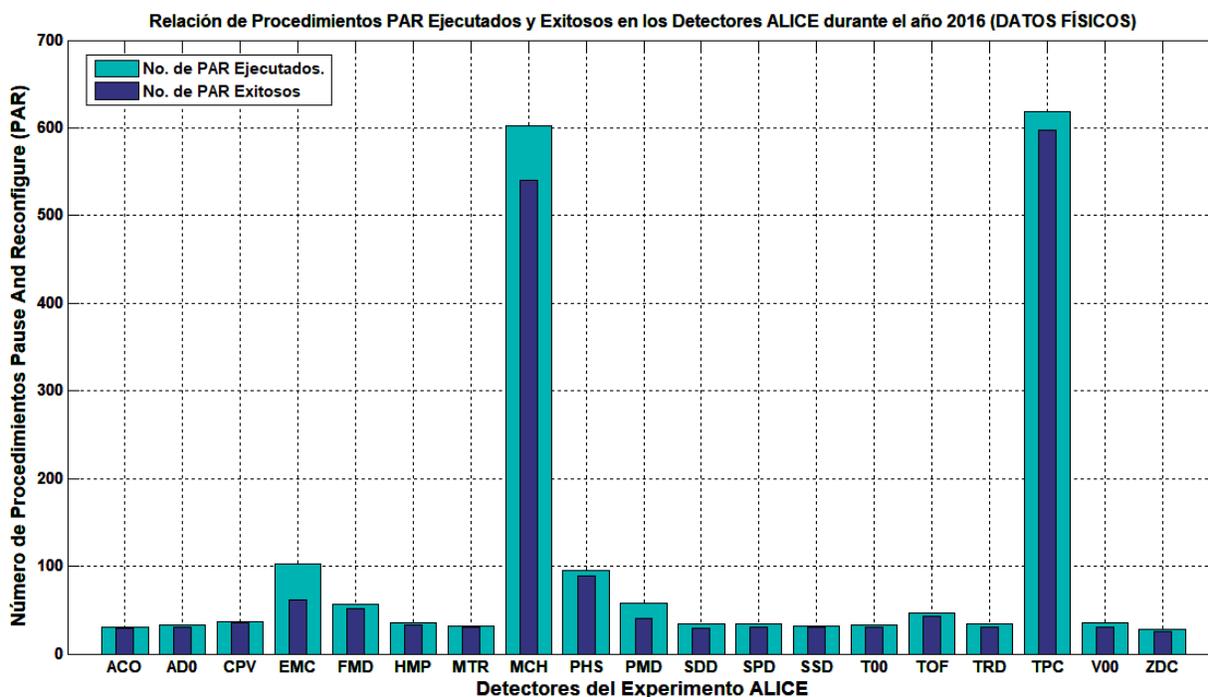


Figura 79. Relación de procedimientos PAR ejecutados y exitosos en los detectores del experimento ALICE para las corridas físicas del año 2016

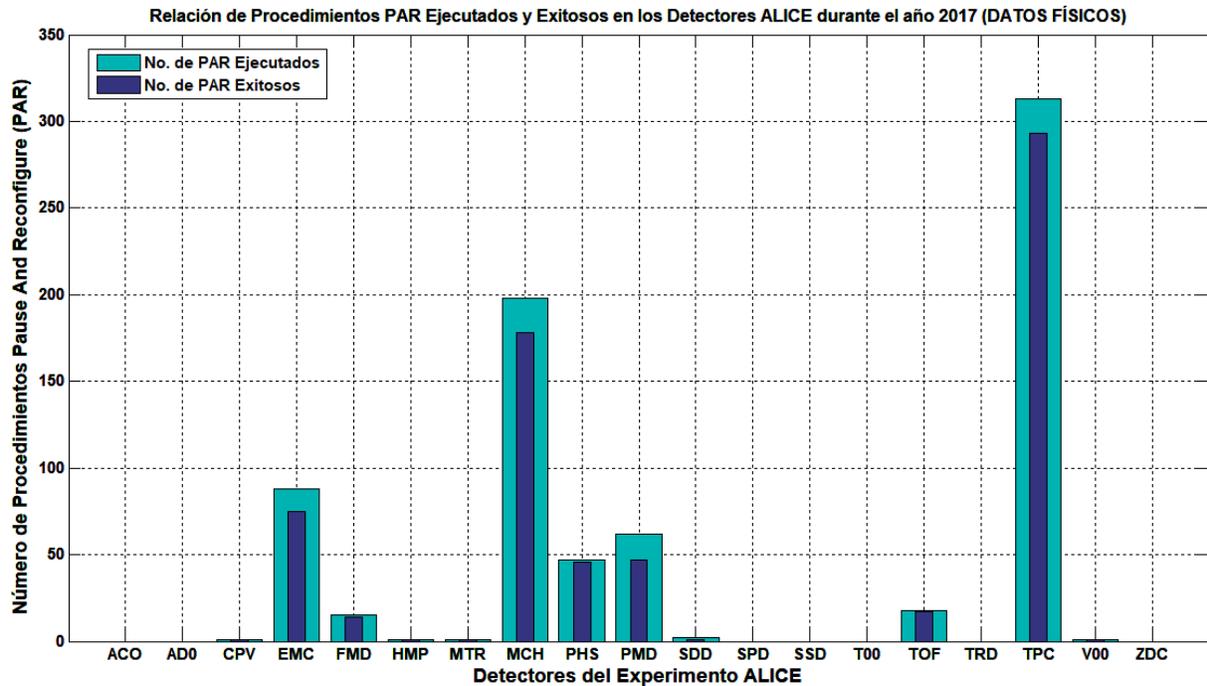


Figura 80. Relación de procedimientos PAR ejecutados y exitosos en los detectores del experimento ALICE para las corridas físicas del año 2017

Los datos del procedimiento PAR correspondientes al año 2015 para corridas físicas registrados en el ALICE *e-Logbook*, no muestran explícitamente el número de ocasiones que haya sido ejecutado este procedimiento, ni tampoco los casos de éxito/fracaso de cada uno de ellos. Sin embargo, fue posible conocer el número de procedimientos PAR erróneos, y los sistemas que los originaron. La mayor parte de los PAR con resultados erróneos durante el año 2015 se debió al detector MCH; así como los sistemas DAQ y ECS, primordialmente. En tanto que los registros en el ALICE *Logbook* del procedimiento PAR durante los años 2016 y 2017 si muestran que los principales detectores que originaron acciones de PAR fueron: TPC, MCH, EMCAL, PHOS, PMD y TOF. De los cuales, los detectores EMCAL y PMD fueron los que menos eficiencia presentaron en los casos de éxito de los PAR ejecutados en esos años.

En el caso del detector AD, éste generó 33 procedimientos PAR únicamente durante el año 2016; de los cuales 31 fueron realizados con éxito y en solamente dos se presentaron PAR erróneos.

#### b) Resultados de las Corridas de Adquisición de Rayos Cósmicos (*Cosmic Runs*)

Este análisis de las corridas con rayos cósmicos en el experimento ALICE comprende una revisión de los siguientes parámetros: a) número y porcentaje de participación en corridas, b) eficiencia, y c) terminación de corridas (EORs). La tabla XVI muestra las características generales de los filtros de búsqueda en el ALICE Logbook para seleccionar las corridas con rayos cósmicos durante LHC15, LHC16 y LHC17. Mientras que la tabla XVII presenta el concentrado de las corridas cósmicas de los detectores de ALICE durante los años 2015, 2016 y 2017.

*Tabla XVI. Características de los filtros de las corridas cósmicas seleccionadas en el ALICE Logbook*

<b>Año</b>	LHC15	LHC16	LHC17
<b>Modo del HLT</b>	C	C	C
<b>Duración de las corridas</b>	> 10 minutos	> 10 minutos	> 10 minutos
<b>Shuttle completado</b>	Si	Si	Si
<b>Tipo de corrida</b>	Cósmicos	Cósmicos	Cósmicos
<b>Tiempo inicio del ECS</b>	De 01/03/2015 A 20/12/2015	De 01/03/2016 A 20/12/2016	De 01/03/2017 A 31/08/2017
<b>Tiempo final del ECS</b>	De 01/03/2015 A 20/12/2015	De 01/03/2016 A 20/12/2016	De 01/03/2017 A 31/08/2017

*Tabla XVII. Resultados generales de las corridas cósmicas de los detectores del experimento ALICE durante los años 2015, 2016 y 2017*

<b>Año</b>	LHC15	LHC16	LHC17
<b>Duración (minutos)</b>	64,844.33	53,821.95	20,982.05
<b>No. de Corridas (Runs)</b>	588	340	129
<b>No. de Fin de Corridas (EORs)</b>	802	414	139

Es importante aclarar que de acuerdo con los resultados mostrados en las tablas XV y XVII, se aprecia que existe un mayor número de EORs que de corridas en cada uno de los tres años que se evaluaron; esto se debe al hecho de que una corrida puede tener más de una causa de terminación, como pueden ser las fuentes (*sources*), los sistemas (*systems*) y las razones de EOR (*EOR reason*).

Las figuras 81, 82 y 83 presentan las gráficas del número de corridas con rayos cósmicos en las que participaron los detectores de ALICE durante los años 2015, 2016 y parte de 2017, respectivamente.

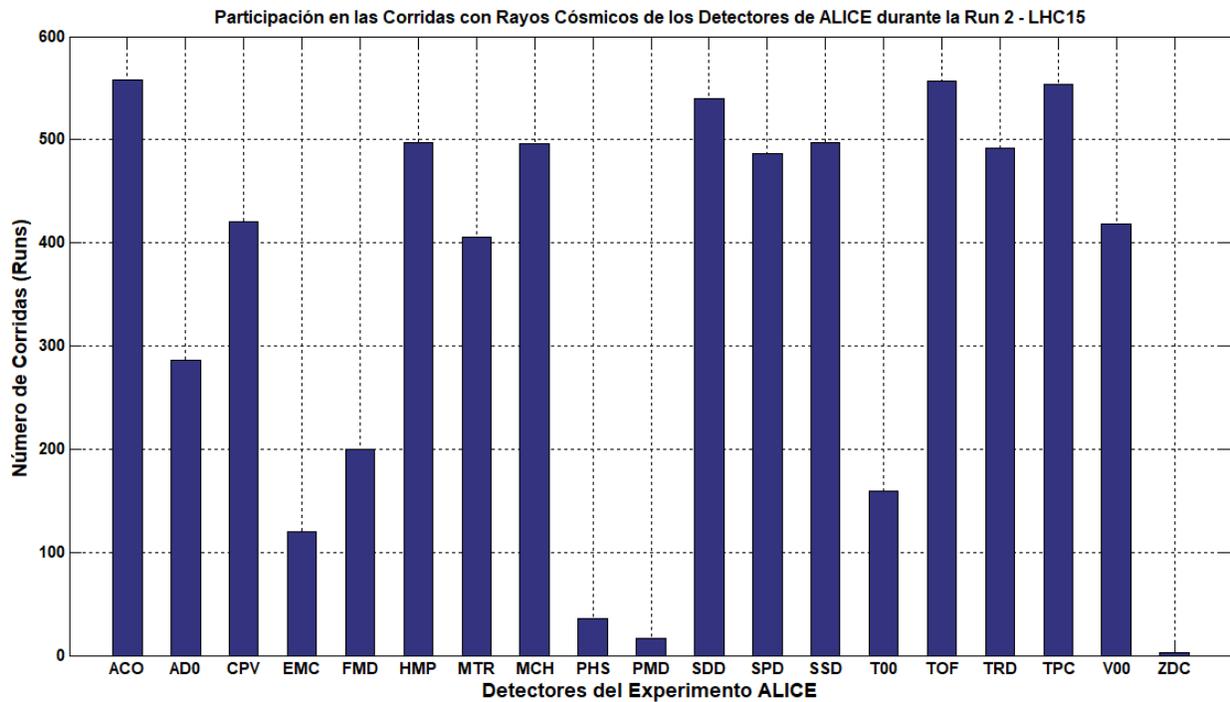


Figura 81. Gráfica del número de corridas cósmicas de los detectores del experimento ALICE durante el año 2015

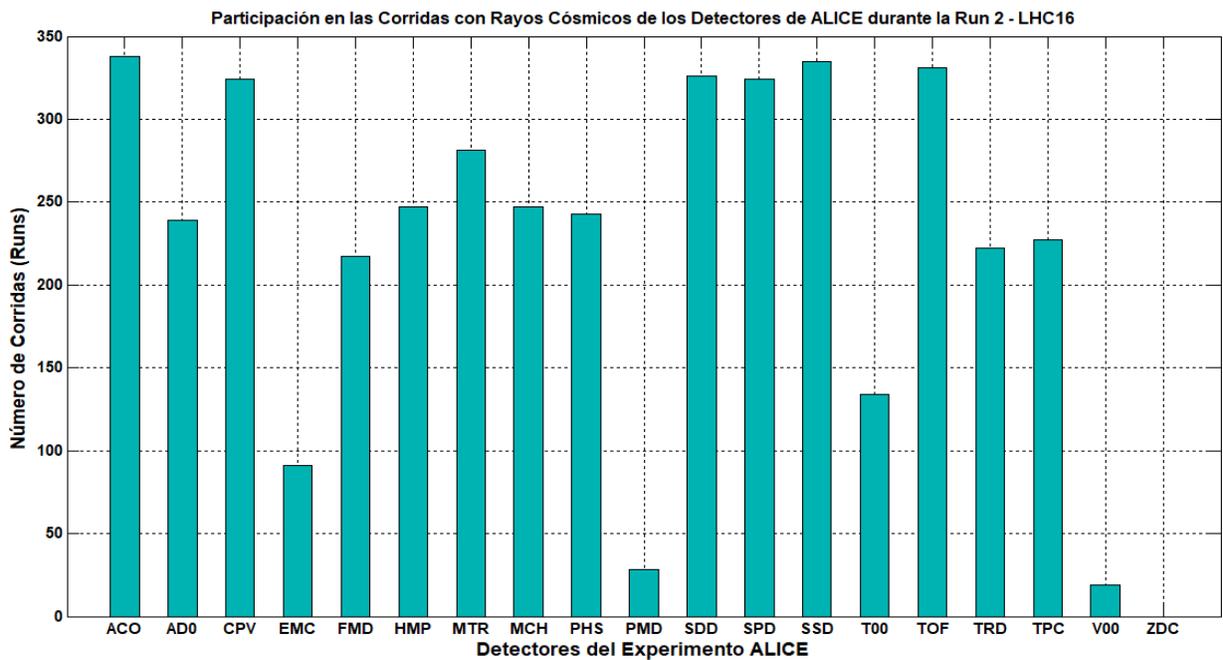
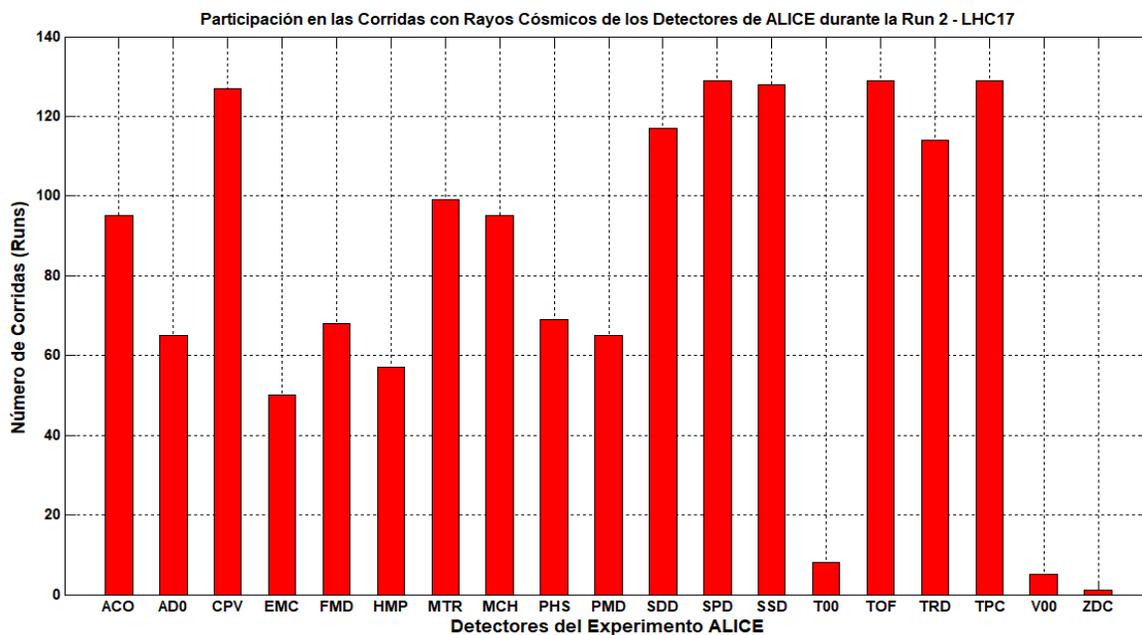


Figura 82. Gráfica del número de corridas cósmicas de los detectores del experimento ALICE durante el año 2016



*Figura 83. Gráfica del número de corridas cósmicas de los detectores del experimento ALICE durante el año 2017*

Las figuras 84, 85 y 86 presentan las gráficas del porcentaje de participación en corridas y la eficiencia de los detectores del experimento ALICE en las corridas cósmicas durante los años 2015, 2016 y 2017, respectivamente.

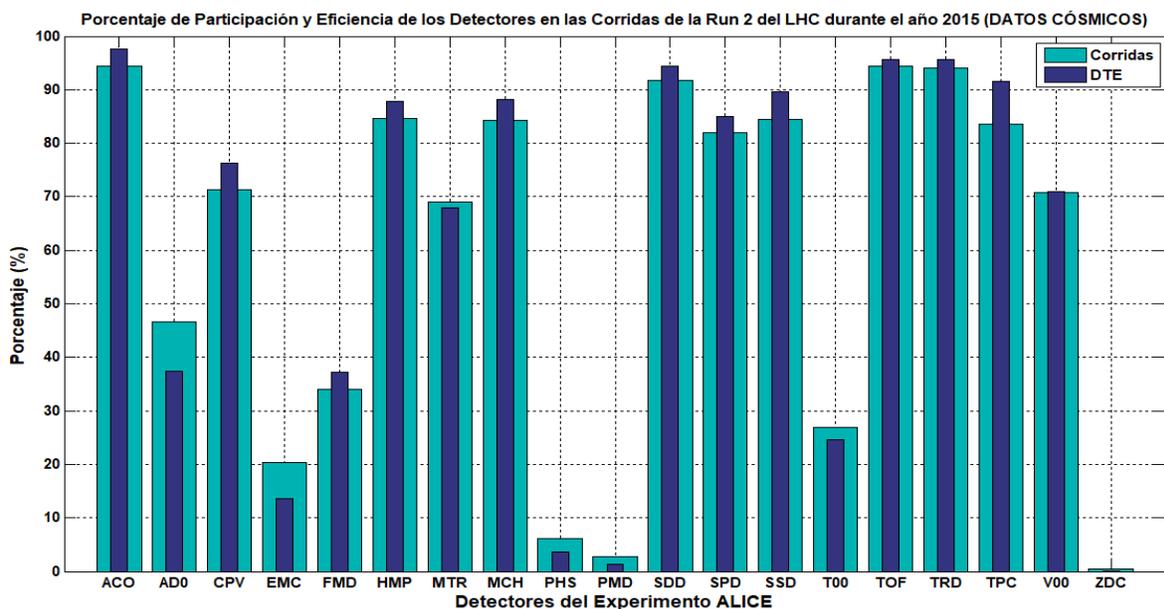


Figura 84. Gráfica de los porcentajes de participación y eficiencia de los detectores de ALICE en las corridas cósmicas durante el año 2015

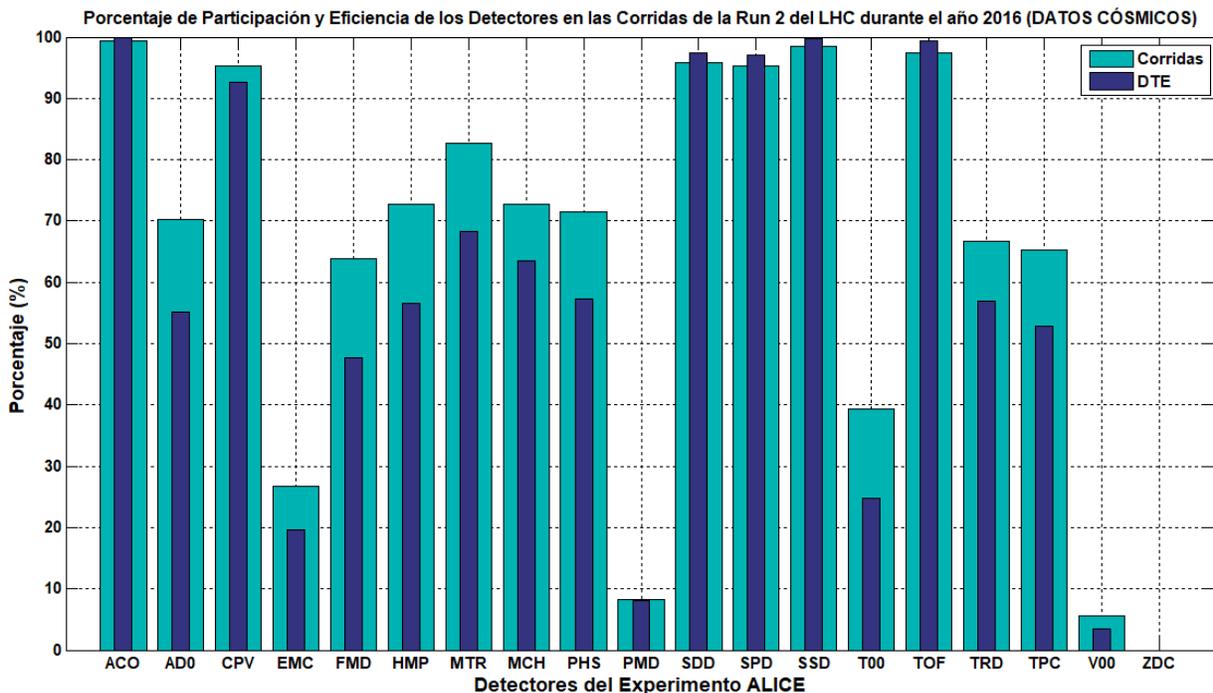


Figura 85. Gráfica de los porcentajes de participación y eficiencia de los detectores de ALICE en las corridas cósmicas durante el año 2016

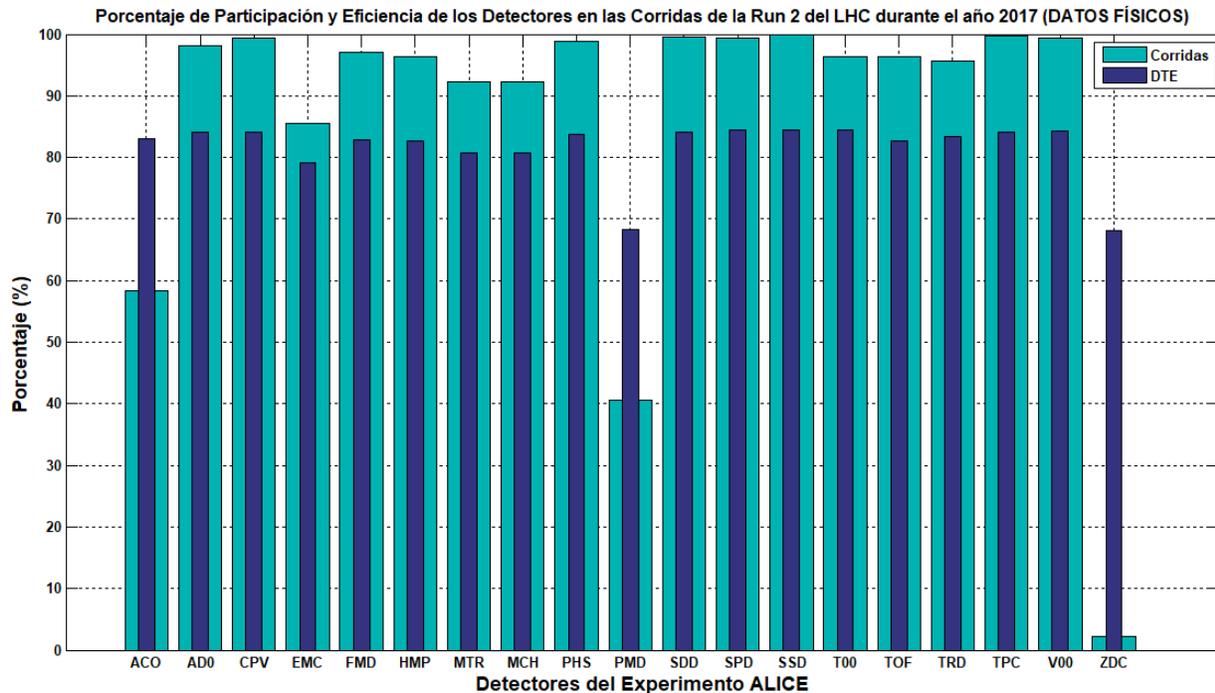


Figura 86. Gráfica de los porcentajes de participación y eficiencia de los detectores de ALICE en las corridas cósmicas durante el año 2017

En las tres gráficas de resultados de corridas cósmicas de los detectores ALICE mostradas previamente, se aprecia una mayor participación en las mismas de detectores diseñados muy particularmente para la lectura de rayos cósmicos, como son: ACORDE, TOF y TPC.

A pesar de que principal función del detector AD no es la detección de rayos de cósmicos, si tiene la capacidad de leer este tipo de datos. De tal forma que, al analizar los resultados de las gráficas anteriores, se aprecia una discreta participación del detector AD en corridas de tipo cósmicas.

La figura 87 muestra la relación del número de terminaciones de corridas (EOR) que generaron los detectores y sistemas (internos y externos) en corridas de rayos cósmicos.

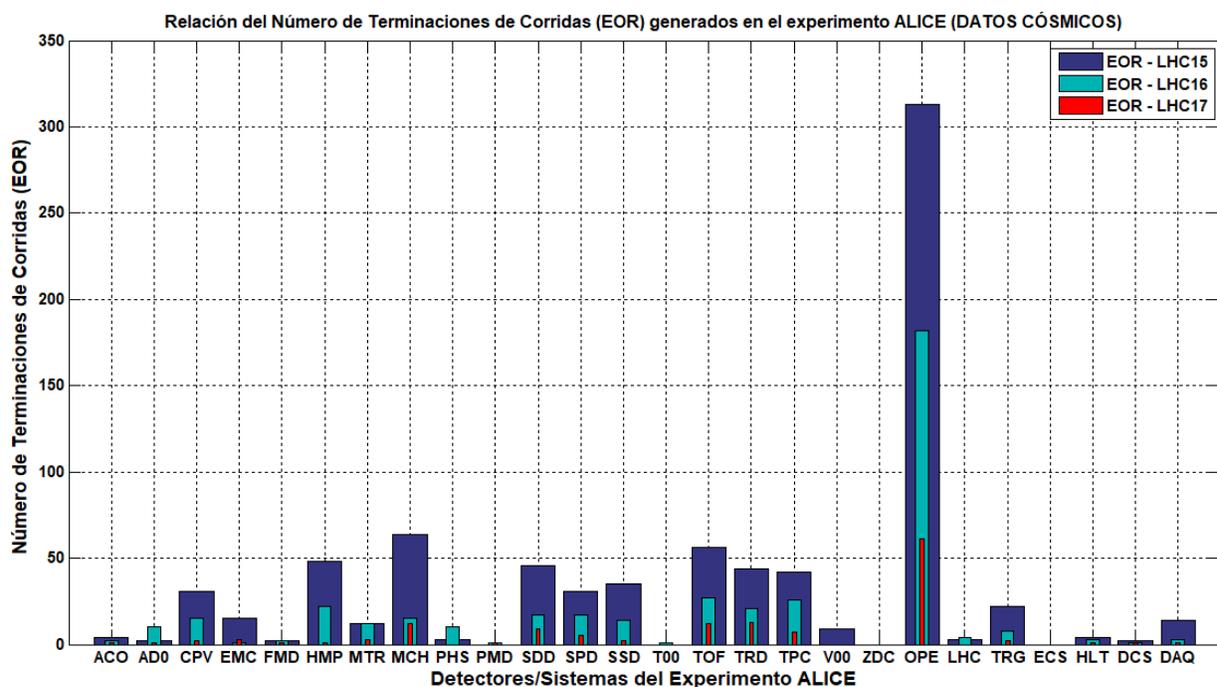


Figura 87. Gráfica del número de EORs que generaron los detectores y sistemas internos y externos del experimento ALICE en las corridas con rayos cósmicos durante los años 2015, 2016 y 2017

### c) Resultados de las Corridas Individuales

Finalmente, también se observa una alta participación del detector AD en corridas individuales (*Standalone Pulse/BC*), que tienen como objetivo calibrar los valores de los parámetros más relevantes del detector, para de esta forma optimizar el desempeño del mismo, sin perturbar la toma de datos del resto de detectores. En la figura 88 se muestran las corridas individuales, y la duración de cada una de ellas, de AD.

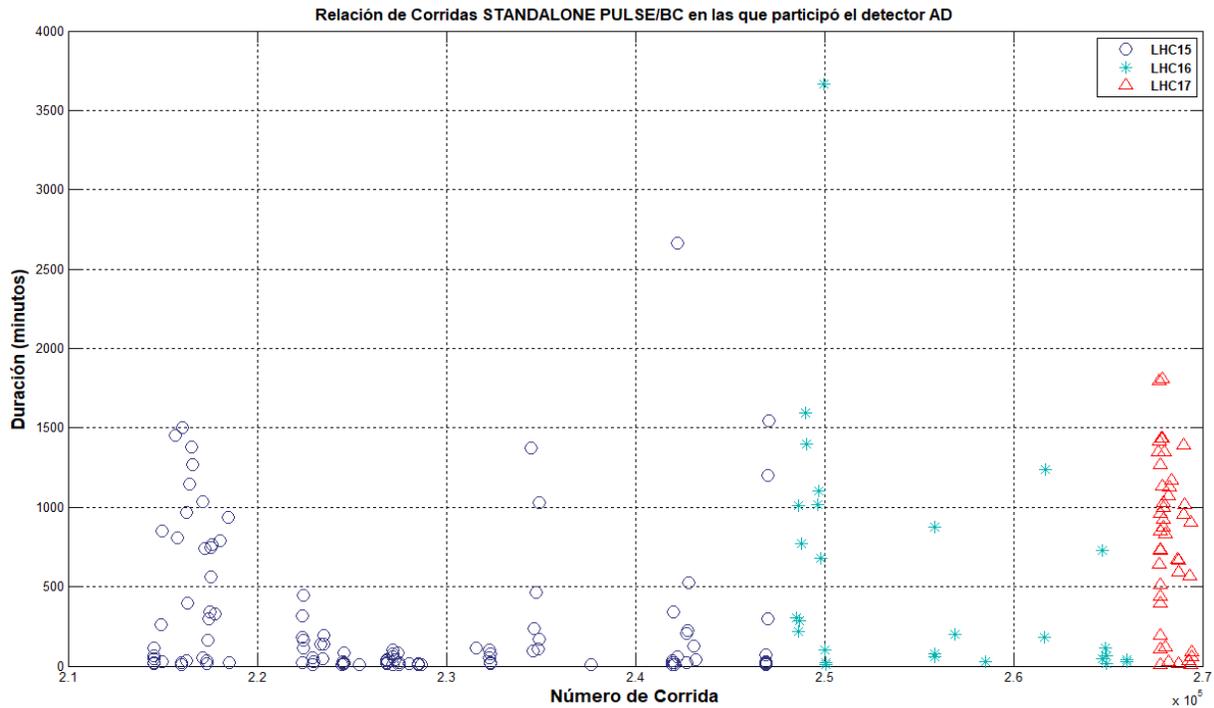


Figura 88. Gráficas de las corridas individuales (*Standalone Pulse/BC*) en las que participa el detector AD durante los años 2015, 2016 y 2017

La tabla XVIII muestra los números de corridas individuales (*Standalone Pulse/BC*) en los que participó el detector AD durante los años 2015, 2016 y parte del 2017.

Tabla XVIII. Relación del número de corridas individuales (*Standalone Pulse/BC*) en los que participó el detector AD durante los años 2015, 2016 y 2017

Año	Número de Corridas individuales
2015	118
2016	28
2017	68
<b>Total</b>	<b>214</b>

## 7.2 Conclusiones

Se logró realizar una revisión exhaustiva de la normatividad y lineamientos referentes al sistema de control del detector (DCS), tanto del experimento ALICE como del CERN-LHC; así como

información relacionada al DCS no únicamente de detectores de ALICE, sino también de detectores pertenecientes a otros experimentos del CERN, principalmente. Asimismo, no únicamente se hizo un análisis teórico del funcionamiento y operación del DCS central de ALICE, sino que también se participó como operador responsable de turno del DCS (*DCS Shift*), así como en turnos de entrenamiento del DCS (*DCS Training*) directamente en el ALICE ACC.

De tal forma que, el modelado de procesos de un sistema de control de detector propuesto permite que las personas involucradas en el desarrollo, mantenimiento y operación, tanto del DCS central de ALICE como de los detectores, conozcan y usen los estándares y regulaciones definidas por los grupos responsables de ALICE y CERN-LHC desde un punto de vista práctico y real.

La metodología propuesta ha permitido comprender los procesos involucrados en el desarrollo del sistema de control de un detector del experimento ALICE (particularizando en este caso para el detector AD), desde el análisis de los requerimientos de diseño hasta su integración y operatividad continua, considerando los principales actores involucrados. Apegados a un lenguaje de modelado estandarizado con un diseño orientado a objetos como los diagramas UML, y también a los diagramas normativos específicos de CERN.

A partir de lo anterior, se propuso el diseño de una arquitectura de control conforme a los requerimientos y prestaciones del detector AD, misma que fue desarrollada utilizando el software WinCC-OA®.

Posteriormente, el sistema de control para el detector AD fue correctamente integrado al DCS del experimento ALICE para permitir el control y monitoreo de sus subsistemas que lo conforman. Actualmente, el detector AD participa activamente en la toma de datos de la Corrida 2 del LHC desde marzo de 2015. El sistema de control desarrollado ha permitido operar al detector de manera independiente y concurrente en los diferentes tipos de corridas, como son del tipo: físicos, cósmicos, técnicas, pedestals, entre otras. Igualmente, esta propuesta converge con los lineamientos y normatividades obligatorias, así como con los requerimientos de los usuarios del sistema. Por ejemplo, las interfaces de usuario del DCS de AD están diseñadas de manera que sus paneles sean intuitivos y fáciles de operar; en conformidad con las características y parámetros principales del detector, y apegados estándares que exigen los grupos de trabajo correspondientes, tanto de ALICE como del LHC y sus experimentos.

Asimismo, el DCS del detector AD está diseñado de manera flexible a los cambios en el hardware de los subsistemas del detector. Esto ha sido constatado en varias ocasiones, en las que por requerimientos técnicos o logísticos, ha sido necesario cambiar la fuente de alimentación universal multicanal (*crate* CAEN) que alimenta los subsistemas del detector, así como la sustitución y/o cambios de ranura de las tarjetas de alto y bajo voltaje colocadas en el *crate* CAEN; sin que lo anterior haya tenido repercusiones negativas en la operación normal del detector. Adicionalmente, el sistema de control de este detector no solamente admite la actualización o modificación de sus elementos de hardware o software, sino también ofrece escalabilidad para permitir la integración de nuevo hardware en caso necesario.

Además, se evaluó y comparó satisfactoriamente el desempeño del DCS del detector AD para los principales tipos de corridas: *físicas*, *cósmicas* y *standalone*; considerando parámetros como: número y duración de corridas, eficiencia de los detectores y del experimento ALICE, cuantificación y definición de los responsables de la generación de los EORs, y comportamiento del procedimiento Pausa y Recuperación (PAR).

### 7.3 Trabajo Futuro

Se espera que este trabajo sirva de apoyo para realizar el análisis de modelado de procesos relacionados con el desarrollo y mantenimiento de sistemas de control de detectores para su operación e integración en la corrida 3 del LHC, para la que se está desarrollando el sistema Online-Offline (O<sup>2</sup>); mediante un nuevo esquema integrado de operación, control y adquisición de datos para el experimento ALICE [109-117]. La integración de los sistemas en línea (*on-line*) y fuera de línea (*offline*) requerirá de una infraestructura de software O<sup>2</sup> común y facilidades de cómputo comunes dedicadas, ambas para la colección y procesamiento de los datos. La estructura de software de O<sup>2</sup> implementará un modelo distribuido, en paralelo y con procesamiento de los datos almacenados. Está diseñado desde un principio para que combine todas las funcionalidades de cómputo necesitadas en un experimento de física de altas energías (HEP), tales como:

- ✓ Lectura del detector (*read-out*)
- ✓ Construcción del evento
- ✓ Registro de los datos
- ✓ Calibración del detector

- ✓ Reconstrucción de los datos
- ✓ Simulación y análisis físico

El sistema O<sup>2</sup>, así como la actualización de otros proyectos programados para la corrida 3, serán contruidos en su mayoría sobre la infraestructura existente actualmente en el experimento. La figura 89 muestra el diagrama a bloques general de ALICE proyectado para esta nueva corrida.

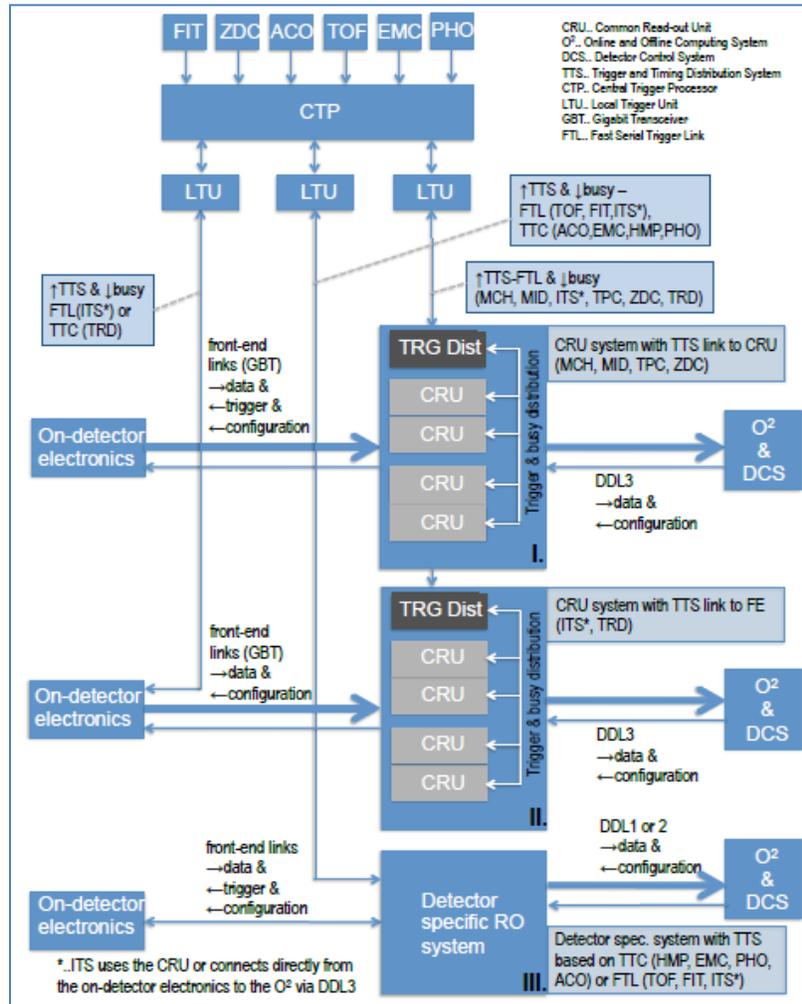


Figura 89. Diagrama a bloques general de la actualización de ALICE para la Run 3 del LHC [109] Algunos detectores que participarán en la corrida 3 usarán una arquitectura GBT (GigaBit Transceiver), en donde la Unidad de Lectura Común (CRU, Common Readout Unit) actuará como interfaz entre:

- Electrónica Lectura Especifica del Detector (DSRO, *Detector Specific Read-Out*)

- Estructura del sistema de cómputo Online-Offline (O<sup>2</sup>)
- Detector Control System (DCS), vía la estructura O<sup>2</sup>
- Procesador de Disparo Central (CTP)
- Sistema de Distribución de Reloj (TTS, *Trigger and Timing distribution System*).

La CRU es una interfaz entre detectores basada en GBT, y el protocolo de enlace versátil óptico y sus componentes. También es capaz de multiplexar los datos, disparos, y la señal de control sobre el mismo GBT.

La figura 90 muestra el diagrama que contiene los principales bloques del sistema CRU basados en los enlaces de frontera final GBT. Los enlaces seriales eléctricos (e-links) tienen una longitud de unos pocos metros y conectan a la interfaz GBTx.

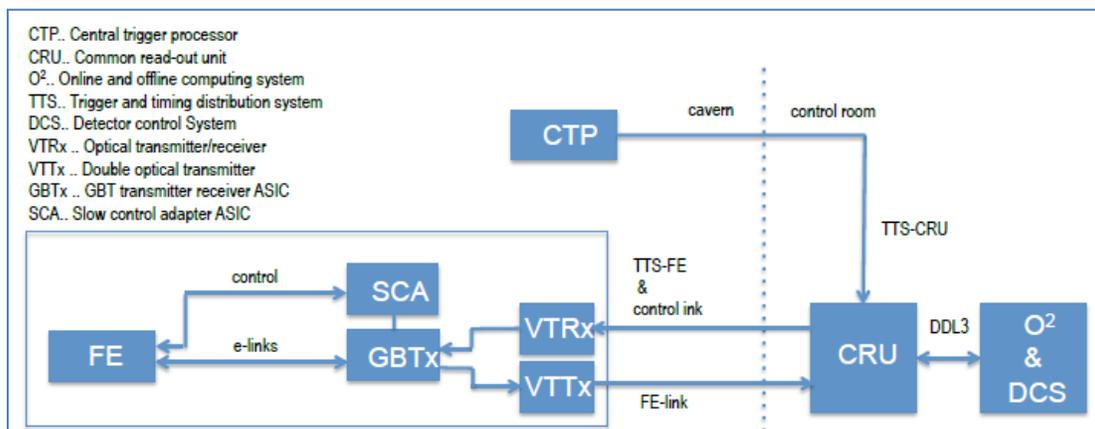


Figura 90. Diagrama a bloques de la CRU con sus partes comunes a todos los detectores [109]

Cada enlace *e-link* contiene un enlace de datos bidireccional y una salida de reloj. La GBTx ASIC decodifica los datos y los transmite a través de los componentes del enlace óptico versátil. Dos diferentes tipos de componentes están disponibles: a) VTRx que es un componente transceptor óptico resistente a la radiación, y b) VTTx es un transmisor óptico doble. Esos dos componentes permiten una adaptación conveniente de la banda ancha de lectura a la segmentación del detector. Un adaptador dedicado de control lento (SCA, *Slow Control Adapter*) proporciona interfaces de comunicación para transmitir los datos de configuración al detector [109].

La actualización de los actuales sistemas de cómputo en línea (*online*) y fuera de línea (*offline*) al nuevo sistema O<sup>2</sup> modificará algunas de las interfaces en el DCS. Sin embargo, el sistema SCADA que usarán el LHC, ALICE, y los demás experimentos para la corrida 3 del LHC seguirá siendo el software WinCC-OA®. Todos los dispositivos seguirán siendo monitoreados continuamente por el sistema SCADA, y sus valores adquiridos serán comparados con sus umbrales predefinidos. En caso de desviaciones significativas de las configuraciones nominales, el sistema realizará acciones correctivas inmediatas, o enviará alertas al operador.

Los detectores nuevos o actualizados durante el Segundo Paro Técnico Largo (LS2, *Long Shutdown 2*) harán uso masivo de los enlaces de lectura basados en GBT. Esos enlaces están interconectados al sistema O<sup>2</sup> y son usados para transferir, tanto datos físicos como de control. La electrónica de esos detectores será accesada por el DCS a través del sistema O<sup>2</sup>. Los parámetros de los límites operativos, activación de dispositivos y configuración son almacenados en la base de datos de configuración o directamente en los sistemas WinCC-OA®. Todos los parámetros etiquetados para almacenamiento son enviados directamente a la *base de datos archival* (ORACLE).

Los datos almacenados están disponibles para su posterior recuperación, ya sea directamente desde WinCC-OA® o por clientes externos. Los datos de las condiciones de operación del detector, así como los parámetros adquiridos de sistemas externos son transmitidos desde la estructura O<sup>2</sup> en periodos de tiempo regulares a través de un Procesador de Primer Nivel (FLP, *First Level Processor*) dedicado. Estos datos de las condiciones de operación son adquiridos por el sistema O<sup>2</sup> para la reconstrucción en línea.

El DCS realiza la interacción con sistemas y servicios externos, tales como: LHC, enfriamiento, seguridad, magneto, gas, entre otros. La información adquirida por el DCS es distribuida a los detectores y sistemas de ALICE, y la retroalimentación es proporcionada de regreso a los servicios. La figura 91 muestra las interfaces de interacción del DCS con dispositivos, servicios externos y el sistema O<sup>2</sup>. La sincronización entre los componentes del DCS y O<sup>2</sup> se lleva a cabo mediante el uso del mecanismo de máquinas de estados finitos (FSMs).

Los datos intercambiados entre el DCS y el sistema O<sup>2</sup> están divididos en dos categorías:

- Datos de Condición

- Datos de Configuración

Los *datos de configuración* son enviados a los dispositivos en diferentes etapas. Primeramente, la configuración estática es cargada a los dispositivos al inicio de la toma de datos. Posterior a esta etapa, la configuración dinámica envía las configuraciones de canal para cada instancia, límites de monitoreo y umbrales de alerta. Por otro lado, los *datos de condición* son colectados desde los dispositivos, como son los sensores de temperatura y humedad, fuentes de poder y tarjetas electrónicas.

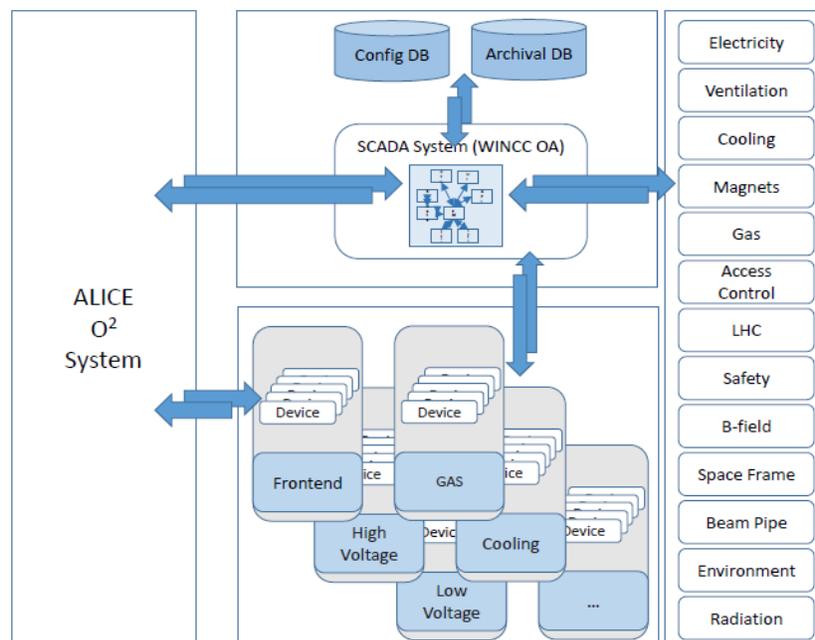


Figura 91. Interfaces del DCS con los dispositivos de los detectores, servicios externos y el sistema O<sup>2</sup>

[109]

# Referencias

- [1] Organización Europea para Investigación Nuclear (2017). About CERN. Ginebra, Suiza: CERN. Recuperado de: <http://home.web.cern.ch/>
- [2] ALICE Collaboration (2008). The ALICE experiment at the CERN LHC. Journal of Instrumentation (JINST). Volumen 3(8). S08002. [doi:10.1088/1748-0221/3/08/S08002](https://doi.org/10.1088/1748-0221/3/08/S08002).
- [3] ALICE Collaboration (2004). Trigger, Data Acquisition, High-Level Trigger and Control System. CERN-LHCC-2003-062. ALICE Technical Design Report. 10. 470 p. Recuperado de <https://cds.cern.ch/record/684651?ln=en>
- [4] Chochula, P. (2017). User's Guide to ALICE Detector Control System. Part 1: Introduction to DCS. Version 1.1. The ALICE DCS Training Course. Recuperado de: <http://espace.cern.ch/alicecontrols>
- [5] Chochula, P. (2017). User's Guide to ALICE Detector Control System. Part 2: System Component and Operation. Version 1.7. The ALICE DCS Training Course. Recuperado de: <http://espace.cern.ch/alicecontrols>
- [6] Mercado, J. (2008). Development of the control system of the ALICE Transition Radiation Detector and of a test environment for quality-assurance of its front-end electronics. Tesis de doctorado. CERN-THESIS-2008-141. Universitat Heidelberg. Alemania. Recuperado de: <http://inspirehep.net/record/897946/files/Thesis-2008-Mercado2ndV.pdf>
- [7] Amos-Cali, I. (2008). The ALICE Silicon Pixel Detector Control and Calibration Systems. Tesis de doctorado. CERN-THESIS-2008-038. Universita Degli Studi Di Bari. Italia. Recuperado de: [http://alice.pd.infn.it/docs/IvanAmosCaliPhDThesis\\_Submitted.pdf](http://alice.pd.infn.it/docs/IvanAmosCaliPhDThesis_Submitted.pdf)
- [8] Esperante-Pereira, D. (2010). Design and Development of Electronics and the Control Software for the Silicon Tracker of LHCb. Tesis de doctorado. CERN-THESIS-2010-238. Universidad de Santiago de Compostela. España. Recuperado de: <http://inspirehep.net/record/1088098/files/CERN-THESIS-2010-238.pdf>
- [9] Lucas-Rodriguez, F. (2009). Design, Development and Verification of the Detector Control System for the TOTEM experiment at the CERN LHC. Tesis de doctorado. CERN-THESIS-2009-046. Universidad de Sevilla. España. Recuperado de: <https://cds.cern.ch/record/1188078/files/CERN-THESIS-2009-046.pdf>

- [10] Tsarouchas, C.A. (2006). MDT DCS Electronics System. Tesis de maestría. CERN-THESIS-2009-241. National Technical University of Athens. Grecia. Recuperado de: <https://cds.cern.ch/record/1624022/files/CERN-THESIS-2009-241.pdf>
- [11] Pitz, N. (2012). Gas system, gas quality monitor and detector control of the ALICE Transition Radiation Detector and studies for a pre-trigger data read-out system. Tesis de doctorado. Goethe Universitat. Frankfurt, Alemania. Recuperado de: [https://www.uni-frankfurt.de/48069320/PHD-Nora\\_Pitz.pdf](https://www.uni-frankfurt.de/48069320/PHD-Nora_Pitz.pdf)
- [12] Bortolin, C. (2011). The ALICE experiment at CERN: development and commissioning of the cooling and control systems of the Silicon Pixel Detector and optimization of the LHC Exchange Interface project. Tesis de doctorado. CERN-THESIS-2010-262. Universita Degli Studi Di Udine. Italia. Recuperado de: <https://inspirehep.net/record/1186182/files/CERN-THESIS-2010-262.pdf>
- [13] De Cataldo et al. (2011). The ALICE HMPID Detector Control System: Its evolution towards an experts and adaptive system. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 639(1), pp. 211-214.
- [14] Tomásio-Pina, J.A. (2010). The Control System of the ATLAS/TILECAL. Tesis de doctorado en física. Universidad de Lisboa. Portugal. Recuperado de: [http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/2474/1/ulsd059660\\_td\\_Joao\\_Pina.pdf](http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/2474/1/ulsd059660_td_Joao_Pina.pdf)
- [15] Boternbrood et al. (2004). Design and Implementation of the ATLAS Detector Control System. IEEE Transactions on Nuclear Science. IEEE, 51(3), pp. 495-501.
- [16] Chen et al. (2008). Design and implementation of the BESIII detector control system. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 592(3), pp. 428-433. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-1137/32/8/012/pdf>
- [17] Bordalo et al. (2012). Control System: an Application to a High Energy Physics Experiment (COMPASS), Proceedings of Automation Quality and Testing Robotics (AQTR). IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics. IEEE. doi:[10.1109/AQTR.2012.6237669](https://doi.org/10.1109/AQTR.2012.6237669)
- [18] Villalobos, O. (2012). A Study of Diffractive Production in ALICE. Journal of Physics: Conference Series. 381(1), 7 p. ISSN 1742-6596. Reino Unido. doi:[10.1088/1742-6596/381/1/012039](https://doi.org/10.1088/1742-6596/381/1/012039)
- [19] Herrera, G. (2011). Diffractive physics in ALICE at the LHC. 5th International Workshop On High-pT Physics at LHC. AIP Conference Proceedings, Volume 1348, pp. 45-52. doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3579430>
- [20] Fukunaga, C. (2000). Standardization of Detector Control Systems. Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39 (4A), pp. 1898-1902. Recuperado de: <http://iopscience.iop.org/article/10.1143/JJAP.39.1898/meta>
- [21] Beltran, D., y Gonzalez, M. A. (2003). Proposal for Modeling the Control System for the Spanish Source in UML. Proceedings of ICALEPCS2003. Gyeongju, Korea. Recuperado de:

<https://accelconf.web.cern.ch/accelconf/ica03/PAPERS/TU501.PDF>

[22] Object Management Group – UML (2017). [Página web]. Disponible en: <http://www.uml.org> [Consulta: Abril de 2017].

[23] Sommerville, I. (2011), Ingeniería de Software. México, D.F., México: Pearson. Novena edición.

[24] Kimmel, P. (2007), Manual de UML, México, D.F., México: Mc Graw Hill.

[25] Fontela, C. (2013), UML. Modelado de software para profesionales, México, D.F., México: Alfaomega

[26] Sánchez, S., Sicilia, M.A., y Rodríguez, D. (2012), Un Enfoque desde la Guía SWEBOK, México, D.F., México: Alfaomega.

[27] Cervantes, H., Velasco, P., y Careaga, L. (2015), Arquitectura de Software. Conceptos y ciclo de desarrollo, México, D.F., México: CENGAGE Learning.

[28] ALICE Collaboration (2006). ALICE Organization. CERN/LHCC 2000-004. Internal Note/GEN. Disponible en: <http://alice-collaboration.web.cern.ch/sites/alice-collaboration.web.cern.ch/files/documents/ALICEOrgvs9.pdf>

[29] ALICE Control Coordination (2016). The ALICE DCS Computing Rules. Reglamento interno ALICE-DCS. CERN.

[30] Chochula et al. (2010). The ALICE Detector Control System. IEEE Transactions On Nuclear Science, IEEE, 57(2), pp. 472-478. doi: [10.1109/TNS.2009.2039944](https://doi.org/10.1109/TNS.2009.2039944)

[31] Augustinus, A. (2011). Computing Architecture of the ALICE Detector Control System. Proceeding of ICALEPCS2011. Grenoble, France. Recuperado de: <https://accelconf.web.cern.ch/accelconf/icalepcs2011/papers/mopkn018.pdf>

[32] Augustinus et al. (2011). The Wonderland of Operating the ALICE Experiment. Proceeding of the ICALEPCS 2011 Conference. Grenoble, France. Disponible en: <https://accelconf.web.cern.ch/accelconf/icalepcs2011/papers/thbhaust02.pdf>

[33] Chochula, P. (2012). The Design and Operation of the Detector Control System of the ALICE Experiment at CERN. Real Time Conference (RT), 18th IEEE-NPSS. ISBN 978-1-4673-1082-6. doi: [10.1109/RTC.2012.6418359](https://doi.org/10.1109/RTC.2012.6418359)

[34] Pinazza, O. (2014). ALICE DCS integration and commissioning for RUN2. ALICE DCS Group. Croatia.

[35] Pinazza, O. (2015). READY for RUN2?. Last steps and Instructions for WinCC projects. ALICE DCS group. DCS Workshop. ALICE Week. Ginebra, Suiza.

[36] Compañía ETM (2014). [Página web en línea]. Disponible en: [www.etm.at](http://www.etm.at) [Consulta: Abril de 2017].

- [37] Golonka, P., y Gonzalez-Berges, M. (2009). Integrated Access Control for PVSS-based SCADA Systems at CERN. Proceeding of ICALEPCS09. Kobe, Japan. Recuperado de: <http://accelconf.web.cern.ch/Accelconf/icalepcs2009/papers/wep101.pdf>
- [38] Burkimsher, P.C. (2005). Scaling Up PVSS. Proceedings of 10th ICALEPCS Int. Conf. on Accelerator & Large Expt. Physics Control System. Ginebra, Suiza. Recuperado de: [https://accelconf.web.cern.ch/accelconf/ica05/proceedings/pdf/P1\\_056.pdf](https://accelconf.web.cern.ch/accelconf/ica05/proceedings/pdf/P1_056.pdf)
- [39] Rodríguez, A. (2011), Sistemas SCADA. Madrid, España: Marcombo.
- [40] Stouffer, K., Falco, J., y Scarfone, K. (2015). Guide to Industrial Control System (ICS). Security Recommendations of the National Institute of Standard and Technology. NIST Special Publications 800-82 Revision 2, pp. 1-247. Recuperado de: <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-82r2.pdf>
- [41] Lechman et al. (2013). Managing Infrastructure in the ALICE Detector Control System. Proceeding of ICALEPCS2013, San Francisco, CA, USA. ISBN 978-3-95450-139-7. Recuperado de: <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/ICALEPCS2013/papers/thppc015.pdf>
- [42] ALICE Collaboration (1998). Detector Control System for an LHC experiment - User Requirements Document. ALICE-INT-1998-03, CERN-ALICE-INT-1998-03. Recuperado de: <http://cds.cern.ch/record/689052/files/INT-1998-03.pdf>
- [43] Gaspar, C. (2001). JCOP Framework, Hierarchical Controls: Configuration & Control. CERN. Version 1. Recuperado de: <http://lhcb-online.web.cern.ch/lhcb-online/ecs/fw/FSMConfig.pdf>
- [44] JCOP Framework Team (2001). Joint Controls Project (JCOP) Framework Sub-Project Guidelines and Conventions. CERN-JCOP-2000-008. Version: Draft, 6. Recuperado de: <https://alice-dcs.web.cern.ch/alice-dcs/Documents/Rules/JCOPguidelines.pdf>
- [45] Gayet et al. (2005). UNICOS a Framework to Build Industry like Control Systems: Principles and Methodology. Proceedings of 10th ICALEPCS Int. Conf. on Accelerator & Large Expt. Physics Control System. Ginebra, Suiza. Recuperado de: [http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/ica05/proceedings/pdf/i3\\_002.pdf](http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/ica05/proceedings/pdf/i3_002.pdf)
- [46] Gonzalez-Berges, M. (2006). Integration of the CAEN Easy System in the JCOP Framework. CERN. Version 1.2.
- [47] JCOP Framework Team (2002). Wiener Power Supplies: User's and Developer's Guide. LHC-IT/CO. Version/Issue: 1.2/1. Recuperado de: <https://edms.cern.ch/ui/file/1093055/1/fwWienerPSUserManual.pdf>
- [48] LHC Experiment & PH-EES Group (2004). Technical Specification – Type B. Regulated Extra Low Voltage Power Supplies for Detector Electronics. CERN. PH Department Project. IT-3330/PH/EXP. Recuperado de: [https://wikis.web.cern.ch/wikis/download/attachments/14778541/LVTender\\_TechspecB.pdf?version=1&modificationDate=1273212869000&api=v2](https://wikis.web.cern.ch/wikis/download/attachments/14778541/LVTender_TechspecB.pdf?version=1&modificationDate=1273212869000&api=v2)

- [49] Starzyk, P. (2002). J COP Framework Trending Plot: Use Cases Survey. CERN. Version 1.1. Issue 7. Recuperado de:  
[https://edms.cern.ch/ui/file/1061283/1/trending\\_tool\\_UC\\_doc.pdf](https://edms.cern.ch/ui/file/1061283/1/trending_tool_UC_doc.pdf)
- [50] Gysin et al. (2007). Role-Based Access Control for the Accelerator Control Systems at CERN. Proceeding of ICALEPCS07. Knoxville, USA. Recuperado de:  
<https://accelconf.web.cern.ch/accelconf/ica07/PAPERS/TPPA04.PDF>
- [51] Daneels, A., y Salter, W. (1999). Selection and evaluation of commercial SCADA systems for the controls of the Cern LHC experiments. Proceedings of the ICALEPCS99 Conference. Trieste, Italy. Recuperado de: <http://cdsweb.cern.ch/record/532627>
- [52] Burkimsher, P., y Holme, O. (2006). J COP Framework, Introductory Demonstration for the Finite State Machine (FSM) Component. CERN, IT-CO-BE. Recuperado de:  
<https://edms.cern.ch/ui/file/1035382/6/fsmDemoInstructions.pdf>
- [53] De Cataldo et al. (2007). Finite State Machines for integration and control in ALICE. Proceeding ICALEPCS07. Knoxville, USA. Recuperado de:  
<https://accelconf.web.cern.ch/accelconf/ica07/PAPERS/RPPB21.PDF>
- [54] Holme, O. (2007). FSM Panel Reference Guide for Common Actions. CERN. IT-CO-BE.
- [55] Holme, O. (2007). Creating User Interface Panels for the FSM. CERN. IT-CO-BE.
- [56] Varela-Rodriguez, F. (2006). J COP Framework FSM-Configuration DB. CERN. Engineering Department.
- [57] Calheiros, F. (2007). FSM-ConfigurationDB Tool. FSM Course. CERN. IT-CO-BE. Recuperado de: <https://edms.cern.ch/file/1085152/1/fwFSMConfDB.ppt>
- [58] Calheiros, F. (2007). FSM-Configuration DB: User's guidelines. Recuperado de:  
[https://edms.cern.ch/ui/file/1085154/1/FSMconfDB\\_UsersGuide.pdf](https://edms.cern.ch/ui/file/1085154/1/FSMconfDB_UsersGuide.pdf)
- [59] Varela-Rodriguez, F. (2006). FSM-ConfDB Integration. CERN. IT-CO. Framework Working Group. Recuperado de:  
[https://edms.cern.ch/file/1085155/1/fwFSMConfDB\\_March06.ppt](https://edms.cern.ch/file/1085155/1/fwFSMConfDB_March06.ppt)
- [60] Chochula et al. (2013). Operational Experiences with the ALICE Detector Control System. Proceeding of ICALEPCS2013. San Francisco, CA, USA. Recuperado de:  
<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/ICALEPCS2013/papers/frcoaab07.pdf>
- [61] Chochula et al. (2015). The Evolution of the ALICE Detector Control System. Proceeding of ICALEPCS2015, Melbourne, Australia. ISBN. 978-3-95450-148-9. Recuperado de:  
<http://icalepcs.synchrotron.org.au/papers/thha3o01.pdf>
- [62] Gaspar, C. (2013). An Overview of the LHC Experiments' Control Systems. Proceedings of ICALEPCS2013, San Francisco, CA, USA. WECOAB01. ISBN 978-3-95450-139-7.  
<http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/ICALEPCS2013/papers/wecoab01.pdf>
- [63] Rothberg, J. (2003). Detector Control Systems in the LHC Experiments. 9<sup>th</sup> Workshop on Electronics for LHC Experiments. Amsterdam, Holanda. Recuperado de:

<http://lhc-electronics-workshop.web.cern.ch/lhc-electronics-workshop/2003/PLENARYT/ROTHBERG.PDF>

- [64] Akiba et al. (2016). LHC Forward Physics. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 43 (11) 110201. Recuperado en: <http://iopscience.iop.org/0954-3899/43/11/110201>
- [65] Villatoro-Tello, A. (2016). AD, the ALICE Diffractive Detector. *Proceedings of Diffraction 2016, International Workshop on Diffraction in High-Energy Physics*. Acireale, Italy.
- [66] ALICE Control Coordination (2007). The in ALICE. Ver. 3.0.2. ALICE DCS User Interface Component. CERN. Recuperado de: [http://alicedcs.web.cern.ch/alicedcs/Software/Downloads/AliceDcsUi\\_v3.0.pdf](http://alicedcs.web.cern.ch/alicedcs/Software/Downloads/AliceDcsUi_v3.0.pdf)
- [67] Boterenbrood, H., y Hallgren, B. (2003). The Development of the Embedded Local Monitor Board (ELMB). *9<sup>th</sup> Workshop on Electronics for LHC Experiments*. Amsterdam, Holanda. Recuperado de <http://cds.cern.ch/record/690030?ln=es>
- [68] Richter, M., Alme, J., Bablok, S., Larsen, D., Röhrich, D., y Ullaland, K. (2003). DCS Communication Software for the ALICE TPC Front-End Electronics. *9<sup>th</sup> Workshop on Electronics for LHC Experiments*. Recuperado de: <http://indico.cern.ch/event/0510/session/35/contribution/44/material/paper/0.pdf>
- [69] Zoccarato et al. (2011). Front end electronics and first results of the ALICE V0 detector. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. Elsevier, 626 (1), pp. 90–96.
- [70] Burkimsher, P. (2014). WinCC-OA and the JCOP Framework Part 3 (Framework). WinCC-OA 3.11 & JCOP-Framework Course. CERN. Ginebra, Suiza.
- [71] Cabanillas-Noris, J.C., Martínez, M.I. y León-Monzón, I. (2016). A Large Ion Collider Experiment (ALICE) Diffractive Detector Control System for RUN-II at the Large Hadron Collider. *International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering*. 10 (3). Recuperado de: <http://waset.org/publications/10004071/a-large-ion-collider-experiment-alice-diffractive-detector-control-system-for-run-ii-at-the-large-hadron-collider->
- [72] Burkimsher, P. (2014). WinCC-OA and the JCOP Framework Part 4 (Framework). WinCC-OA 3.11 & JCOP-Framework Course. CERN. Ginebra, Suiza.
- [73] Kapusta, S., Augustinus, A., Chochula, P., Jirdén, L., Rosinsky, P. (2007). Data flow in ALICE Detector Control System. *Proceedings of 11th Vienna Conf. on Instrumentation*. Vienna, Austria.
- [74] Grosse-Oetringhaus et al. (2010). The ALICE Online-Offline Framework for the Extraction of Conditions Data. *17 International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP09)*. *Journal of Physics: Conference Series* 219 022010. Praga, República Checa. doi: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/219/2/022010>

- [75] Grosse-Oetringhaus, J.F. (2009). Measurement of the Charged-Particle Multiplicity in Proton-Proton Collisions with the ALICE Detector. Tesis de Doctorado. University of Muenster. Alemania. CERN-THESIS-2009-033. Recuperado de: [https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/physik\\_kp/agwessels/thesis\\_db/ag\\_wessels/grosse-oetringhaus\\_2009\\_dissertation.pdf](https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/physik_kp/agwessels/thesis_db/ag_wessels/grosse-oetringhaus_2009_dissertation.pdf)
- [76] Colla, A. y Grosse-Oetringhaus, J.F. (2008). The Shuttle Framework – A system for automatic readout and processing of condition data. CERN. Internal Note/Computing. ALICE-INT-2008-011 version 1.0. Recuperado de: <https://edms.cern.ch/document/924807/1>
- [77] Gonzalez-Berges, M. (2010). The High Performance Database Archiver for the LHC Experiments. Proceeding of ICALEPCS07. Knoxville, Tennessee, USA. Recuperado de: <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/ica07/PAPERS/ROPA02.PDF>
- [78] Chochula, P. (2005). External Access to the ALICE DCS archives. ALICE Offline Week. Recuperado de: <http://indico.cern.ch/event/420329/contributions/1883616/attachments/877532/1231420/D-CS-OFFLINE.pdf>
- [79] Legrand et al. (2004). MonALISA: an agent based, dynamic service system to monitor, control and optimize grid based applications, Proceedings of the International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP04) Conference, Interlaken, Switzerland. Recuperado de: <http://cdsweb.cern.ch/record/865735>
- [80] Jadlovsky et al. (2014). External access to ALICE controls conditions data. Proceeding of the 20th International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP2013) IOP Publishing. Journal of Physics: Conference Series 513 012015. Amsterdam, Holanda. Recuperado de: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/513/1/012015>
- [81] Fekete, V., y Kapusta, S. (2017). Alice MANager for Dcs Archives. [Página web en línea]. Disponible en: <http://alice-project-dcs-amandaserver.web.cern.ch/alice-project-dcs-amandaserver/> [Consulta: Abril de 2017].
- [82] Evans, L., y Bryant, P. (2008). LHC Machine. Journal of Instrumentation (JINST). Volumen 3. doi:10.1088/1748-0221/3/08/S08001
- [83] ATLAS Collaboration (1994). ATLAS Technical Proposal for a General-Purpose pp Experiment at the Large Hadron Collider at CERN, CERN/LHCC/94- 43, LHCC/P2. Recuperado de: <http://cdsweb.cern.ch/record/290968>
- [84] CMS Collaboration (1994). CMS Technical Proposal. CERN/LHCC 94-38. Recuperado de: <http://cdsweb.cern.ch/record/290969>
- [85] LHCb Collaboration (1998). LHCb Technical Proposal. CERN/LHCC 98-4. Recuperado de: <http://cdsweb.cern.ch/record/622031>
- [86] ALICE Collaboration (2017). A Large Ion Collider Experiment. [Página web en línea]. Disponible en: [aliweb.cern.ch](http://aliweb.cern.ch) [Consulta: Febrero de 2017].

- [87] Carena et al. (2005). The ALICE Experiment Control System. Proceedings of the 10th ICALEPCS Int. Conf. on Accelerator & Large Expt. Physics Control Systems. Ginebra, Suiza. Recuperado de: [https://accelconf.web.cern.ch/accelconf/ica05/proceedings/pdf/O1\\_011.pdf](https://accelconf.web.cern.ch/accelconf/ica05/proceedings/pdf/O1_011.pdf)
- [88] Chapeland et al. (2010). Online Processing in the ALICE DAQ. The Detector Algorithms. Journal of Physics: Conference Series 219 (2010) 022004. 17th International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP09). IOP Publishing. Praga, República Checa. Recuperado de: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/219/2/022004/meta>
- [89] Chapeland et al. (2012). Experiences and evolutions of the ALICE DAQ Detector Algorithms Framework. Journal of Physics: Conference Series 396 (2012) 012012. Proceedings of the International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics 2012 (CHEP12). IOP Publishing. New York, USA. [doi:10.1088/1742-6596/396/1/012012](https://doi.org/10.1088/1742-6596/396/1/012012)
- [90] Myers, D. (2009). The LHC Experiments' Joints Controls Project, JCOP. Proceeding of the International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, Trieste, Italy. CERN. Recuperado de: <http://cds.cern.ch/record/532705/files/ma1o06.pdf>
- [91] Franek, B., y Gaspar, C. (2010). SMI++ Object Oriented Framework used for Automation and Error Recovery in the LHC Experiment. Journal of Physics: Conference Series 219 (2010) 022031. 17th International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP09). IOP Publishing. [doi:10.1088/1742-6596/219/2/022031](https://doi.org/10.1088/1742-6596/219/2/022031)
- [92] Lechman et al. (2011). Protecting Detectors in ALICE. Proceedings of ICALEPCS2011. Grenoble, France. Recuperado de: <http://accelconf.web.cern.ch/Accelconf/icalepcs2011/papers/wepmu026.pdf>
- [93] Darybar et al. (2012). Toward Secure Model for SCADA Systems. International Conference on Cyber Security, Cyber Warfare and Digital Forensic (CyberSec), pp. 60-64.
- [94] Lüders, S., Flockhart, R.B., Morpurgo, G., y Schmeling, S.M. (2003). The CERN Detector Safety System for the LHC experiments. Proceedings of ICALEPCS 2003, Gyeongju, Korea. CERN-OPEN-2007-019. Recuperado de: <http://cdsweb.cern.ch/record/1054106?ln=en>
- [95] Compañía Kuraray. [Página web en línea]. Disponible en: <http://kuraraypsf.jp/psf/> [Consulta: Febrero de 2017].
- [96] ALICE Collaboration (2017). ALICE Electronic Logbook. [Página web en línea]. Disponible en: [https://alice-logbook.cern.ch/logbook/date\\_online.php?p\\_cont=bs](https://alice-logbook.cern.ch/logbook/date_online.php?p_cont=bs) [Consulta: Abril de 2017].
- [97] Compañía CAEN (2014). [Página web en línea]. Disponible en: [www.caen.it](http://www.caen.it) [Consulta: Febrero de 2017].
- [98] Antonioli et al. (2013). Upgrade of the Readout & Trigger System (Technical Design Report). CERN. Recuperado de <http://cds.cern.ch/record/1603472/files/ALICE-TDR-015.pdf>

- [99] Compañía Wiener Power Electronics (2017). [Página web en línea]. Disponible en: <http://www.wiener-d.com/> [Consulta: Febrero de 2017].
- [100] Jacobson et al. (2000). “El Proceso Unificado de Desarrollo de Software”. Spain: Addison Wesley.
- [101] Krutchen, P. (1995). “The 4 + 1 view model of architecture”. IEEE Software, Vol. 11, No. 6, pp. 42-50.
- [102] Larman, C. (2003), UML y Patrones. Madrid, España: Pearson Education. Segunda edición.
- [103] Pressman, R. (2010), Ingeniería de Software. Un enfoque práctico. México, D.F., México: Mc Graw Hill. Séptima edición.
- [104] Gaspar, C., y Donszelmann, M. (1993). DIM – A distributed information management system for the DELPHI experiment at CERN. Proceedings of the 8th Conference on Real-Time Computer applications in Nuclear. Particle and Plasma Physics. Vancouver, Canada. Recuperado de: <http://inspirehep.net/record/369370>
- [105] Altini et al. (2010). J. Phys.: Conf. Ser. 219 022027
- [106] Pinazza et al. (2012). J. Phys.: Conf. Ser. 396 012040
- [107] Carena et al. (2012). Monitoring and improving the ALICE data taking efficiency. Real Time Conference (RT), 18th IEEE-NPSS (pp. 1-6). IEEE.
- [108] Carena et al. (2014). The ALICE data acquisition system. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Vol. 741, pp. 130-162. doi: <http://doi.org/10.1016/j.nima.2013.12.015>
- [109] ALICE Collaboration (2015). Upgrade of the Online – Offline Computing System. Technical Design Report. CERN-LHCC-2015-006. ALICE-TDR-019. Recuperado de: <https://cds.cern.ch/record/2011297/files/ALICE-TDR-019.pdf>
- [110] ALICE Collaboration (2014). Upgrade of the ALICE Experiment: Letter Of Intent. Tech. J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 41 (2014) 087001. Recuperado de: <http://cds.cern.ch/record/1475243>
- [111] ALICE Collaboration (2014). O<sup>2</sup> : A novel combined online and offline computing system for the ALICE Experiment after 2018. Journal of Physics: Conference Series 513 (2014) 012037. 20th International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP2013). Amsterdam, Holanda. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/513/1/012037/pdf>
- [112] Chibante., V. (2014). Control, Configuration and Monitoring. ALICE ITS upgrade and O<sup>2</sup>, Asian Workshop. Krabi, Thailand. Disponible en: <https://indico.cern.ch/event/311156/>
- [113] Vande-Vyvre, P. (2014). O<sup>2</sup> Project : Upgrade of the online and offline computing. ALICE ITS upgrade and O<sup>2</sup>, Asian Workshop. Krabi, Thailand. Disponible en: <https://indico.cern.ch/event/311156/>

- [114] ALICE Collaboration (2013). Addendum of the Letter Of Intent for the Upgrade of the ALICE Experiment: The Muon Forward Tracker. CERN-LHCC-2013-014 / LHCC-I-022-ADD-1. Recuperado de: <http://cds.cern.ch/record/1592659>.
- [115] ALICE Collaboration (2013). Upgrade of the ALICE Inner Tracking System, Technical Design Report. CERN-LHCC-2013-024/ALICE-TDR-017. Recuperado de: <http://cds.cern.ch/record/1625842/>
- [116] ALICE Collaboration (2013). Upgrade of the ALICE Time Projection Chamber, Technical Design Report. CERN-LHCC-2013-020 / ALICE-TDR-016. 2013. Recuperado de: <https://cds.cern.ch/record/1622286/>
- [117] ALICE Collaboration (2015). Technical Design Report for the The Muon Forward Tracker. CERN-LHCC-2015-001. ALICE-TDR-018. Recuperado de: <https://cds.cern.ch/record/1981898?ln=es>
- [118] Brun, R., y Rademakers, F. (1997) ROOT: An object oriented data analysis framework. Nucl. Instrum. Meth. A 389 (81). pp 81-86. Recuperado de: <https://inspirehep.net/record/458148/>
- [119] ALICE Offline framework for simulation, reconstruction and analysis (2017). [Página web en línea]. Disponible en: <http://git.cern.ch/pubweb/AliRoot.git/blob/HEAD:/SHUTTLE/schema/AD0.ldif> [Consulta: Febrero de 2017].
- [120] Kurepin, A. (2015). ALICE DCS Alarm Help tool v.1.0.5. CERN. ALICE Week. ALICE DCS Group.
- [121] Aparicio, R. (2006) CERN Windows Terminal Services. CERN Computer NewsLetter. Recuperado de: <http://cerncourier.com/cws/article/cnl/24610>
- [122] IT Department, CERN. Remote Desktop Services. [Página web en línea]. Disponible en: <https://remotedesktop.web.cern.ch/remotedesktop/> [Consulta: Febrero de 2017].
- [123] Boccioni, M., Carena, F., y Pinazza, O. (2010). ALICE DCS Run Control Tool. CERN. Internal Note/DCS. Versión 0.18.
- [124] Chochula et al (2005). The ALICE DCS FERO Databases. CERN. ALICE-doc-2005-000. Versión draft 1.0.
- [125] Chochula et al. (2007). Handling Large Data Amounts in ALICE DCS. Proceedings of ICALEPCS07, Knoxville, Tennessee, USA. Recuperado de: <https://accelconf.web.cern.ch/accelconf/ica07/PAPERS/RPPA36.PDF>
- [126] ALICE Collaboration (2017). ALICE DCS Monitoring. [Página web en línea]. Disponible en: <http://alicedcs.web.cern.ch/AliceDCS/monitoring/main.aspx> [Consulta: Abril de 2017].

# Apéndices

## A. Casos de Uso Tabular

### A.1 Casos de Uso Tabular para el Experto en el Detector

Tabla A1. Caso de Uso Tabular – 1. Almacenamiento de los parámetros que determinan las condiciones de operación (ED)

<b>Actores</b>	Experto en el Detector, Experto en el DCS Central
<b>Descripción</b>	El sistema DCS permite el almacenamiento, y monitoreo continuo y asíncrono de los parámetros condicionales en línea de los detectores, cuando se está ejecutando el experimento. Estos datos condicionales proporcionan información respecto al estatus del detector y su medio ambiente [74]; algunos ejemplos de estos datos son: voltajes y corrientes para HV y LV, valores de temperatura y presión de gas, entre otros. Inicialmente, estos valores condicionales se almacenan en la base de datos <i>archive</i> , y mediante el uso de un sistema llamado <i>Shuttle</i> son transferidos finalmente a la base de datos para condiciones fuera de línea (OCDB) [76]. La OCDB almacena los valores de todos los parámetros condicionales para un posterior análisis fuera de línea ( <i>offline</i> ) [6].
<b>Datos</b>	- Listado de parámetros y su configuración para su envío a la OCDB - Valores almacenados en la OCDB de cada parámetro del detector configurado
<b>Estímulo</b>	Al menos al inicio y al final de cada corrida se envían los datos condicionales a la <i>base de datos archive</i> , y posteriormente a la base de datos para condiciones fuera de línea. El experto en el sistema de control del detector puede configurar el sistema para definir las características de este almacenamiento; ya sea cada determinado periodo de tiempo o cuando los valores de los parámetros seleccionados se encuentren fuera de ciertos rangos permitidos.
<b>Respuesta</b>	Un servicio especial llamado AMANDA 3 permite recuperar los datos condicionales de la base de datos <i>archive</i> y los envía al <i>Shuttle</i> [74-78]. Adicionalmente el <i>framework Shuttle</i> realiza otras actividades, entre las que destacan: a) Copia los datos producidos por los sistemas DAQ, DCS, y HLT de cada detector, b) estandariza la información a un formato ROOT [118], c) almacena en la Grid OCDB, d) indica cuando una corrida ha sido procesada, iniciando por lo tanto con el proceso de reconstrucción.
<b>Comentarios</b>	Es posible monitorear el estatus del almacenamiento de los datos del DCS y otros sistemas enviados a la OCDB para diferentes corridas, mediante el uso de la interfaz web denominada monALISA [79-81, 119].

Tabla A2. Caso de Uso Tabular – 2. Interacción mediante el uso de interfaces de usuario (ED)

<b>Actores</b>	Experto en el Detector, Operador en el DCS Central, Personal de Turno
<b>Descripción</b>	Las interfaces de usuario (UI) gráficas permiten la interacción directa con el experimento, y es la única parte visible del sistema de control. Su diseño se rige por la integración de una interfaz de usuario estándar proporcionado por el grupo de la Coordinación de Controles de ALICE (ACC) [66].
<b>Datos</b>	- Estados y comandos configurados en los nodos FSMs - Interfaz de usuario principal y para los diferentes nodos FSMs
<b>Estímulo</b>	- El usuario una vez que se ha autenticado podrá acceder a la interfaz de usuario principal del detector, conforme a las prestaciones asignadas en los roles de experto. - El explorador de árbol jerárquico FSM ( <i>FSM Hierarchy Tree Browser</i> ) del panel de usuarios del DCS permite navegar por los nodos configurados en el sistema, y visualizar sus interfaces de usuario correspondientes.
<b>Respuesta</b>	El usuario podrá realizar las siguientes actividades: a) navegar por los diferentes paneles de los subsistemas y nodos que conforman la arquitectura de software del detector, b) visualizar el estado actual e historial de comportamiento de los parámetros, c) modificar y/o configurar diferentes subsistemas y componentes, e incluso d) encender o apagar desde canales de lectura hasta elementos de hardware.
<b>Comentarios</b>	- En el lado izquierdo de la interfaz de usuario del DCS en el sistema WinCC-OA® se encuentra localizado el navegador jerárquico FSM. En tanto que en el lado derecho está el Panel de Usuario (UP). El panel de usuario es el medio para mostrar la información de monitoreo relacionada con el nodo FSM seleccionado, el cual está resaltado con el navegador de árbol. - El sistema de control requiere del diseño e implementación de los paneles de usuario para los nodos FSM conforme a los requerimientos de los expertos del grupo de trabajo del detector. - Cualquier cambio y/o actualización dentro del DCS del detector, requiere previa consulta al personal del ALICE RCC en turno, y ser aprobado por el <i>Shift Leader</i> [4-5]. - El usuario requerirá tener los privilegios suficientes en el control de acceso para hacer uso de los recursos del DCS del detector, como son: envío de comandos, modificación de parámetros, configuración de dispositivos, entre otros. En su defecto solamente podrá monitorear los valores de los elementos del sistema de control.

Tabla A3. Caso de Uso Tabular – 3. Configuración de alarmas de seguridad (ED)

<b>Actores</b>	Experto en el Detector, Operador en el DCS Central
<b>Descripción</b>	La generación de alarmas (alertas) de parámetros importantes para que sean visualizadas por el operador del DCS central y los diferentes usuarios autorizados, es clave para la operación correcta y segura de los detectores y subsistemas en general del experimento ALICE. Para ello, es necesario que los expertos en el detector puedan configurar las alarmas de los parámetros considerados críticos para la operación y seguridad del detector.
<b>Datos</b>	- Listado y datos de configuración de las alarmas en ciertos parámetros. - Historial de alarmas del experimento
<b>Estímulo</b>	Primeramente, a cada DPE seleccionado para configurarle el atributo de Manejo de Alarmas ( <i>Alarm Handling</i> ) usando el panel PARA del software WinCC-OA®. Durante el funcionamiento del detector puede presentarse el caso de que uno o más de los parámetros a los que se les configuró su alarma en el software del DCS, presenten valores no deseados, o bien se encuentren fuera de un rango permitido.
<b>Respuesta</b>	- Cuando se dispara una alarma, cada una de ellas debe tener asociada un nivel de intensidad ( <i>Alarm Class</i> ), como son: <i>Warning</i> , <i>Error</i> y <i>Fatal</i> , conforme a los requerimientos del grupo ACC. Se recomienda que las alarmas de mayor prioridad deberán sean atendidas primeramente que las menos prioritarias [4-5]. - Los mensajes de alarmas podrán ser visualizados por el experto del detector en la pantalla de alarmas y alertas (AES) del DCS, utilizando un <i>framework</i> denominado <i>JCOP Alarm Screen</i> [70]. En esta pantalla aparece información importante de cada alarma, como son: intensidad, DEP del dispositivo, descripción, texto, estatus, valor, tiempo, entre otras.
<b>Comentarios</b>	- La configuración de las alertas de los DPEs ( <i>DP elements</i> ) pueden realizarse por cada elemento individualmente o por conjuntos de tipos de DPs con características similares; así como crear DP maestros ( <i>master data point</i> ) y definir resúmenes de alertas ( <i>Group Alerts</i> ).

Tabla A4. Caso de Uso Tabular – 4. Configuración de instrucciones de ayuda de alarmas (ED)

<b>Actores</b>	Experto en el Detector, Operador en el DCS Central
<b>Descripción</b>	Las ayudas de alarmas permiten a los operadores del DCS Central ( <i>DCS Shifters</i> ) en el ALICE RCC y a los expertos de los detectores restaurar el detector a un estado estable, y operativo en caso de fallas o disturbios [4-5].
<b>Datos</b>	- Listado y configuración detallado de las ayudas de alarmas

<b>Estímulo</b>	Cuando se dispara la alarma de un parámetro o subsistema, los operadores pueden seleccionar una ayuda para la alarma seleccionada en la pantalla/panel de alarma (AES).
<b>Respuesta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La ayuda de alarma seleccionada y previamente configurada, abrirá una dirección URL con instrucciones para el operador con el objetivo de solucionar el problema con esta alerta. Estas ayudas de alarmas contienen instrucciones que deberá seguir el operador en el DCS central en turno, o bien por el responsable <i>on-call</i> o experto en el DCS del detector. Asimismo, se incluyen los datos de localización del contacto en caso de dudas o emergencia.</li> <li>- Inicialmente en caso de una alarma, el operador en el DCS central en turno busca resolver la situación de la alerta. El contenido del archivo de ayuda incluye la siguiente información: título, descripción general, descripción para nivel <i>Warning</i>, descripción para nivel <i>Error</i>, descripción para nivel <i>Fatal</i>, acción a realizar por el experto en el detector, acción a realizar por el operador central e información del contacto en casos especiales.</li> </ul>
<b>Comentarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En caso de que las instrucciones no existan, no sean claras o no ayuden a resolver la situación problemática, será necesario en principio llamar al responsable <i>on-call</i> del detector.</li> <li>- Se recomienda el uso del <i>JCOP Framework</i> denominado <i>AliDcsAlarmHelp</i> para configurar las ayudas de alarmas [120].</li> <li>- Los mensajes de alarmas podrán ser visualizados por el usuario en la pantalla utilizando un <i>framework</i> denominado <i>JCOP Alarm Screen</i> [70], y dependiendo del nivel de intensidad serán las acciones que se realizarán.</li> <li>- Adicionalmente, el Sistema de Seguridad del Detector (DSS) es el responsable de asegurar y proteger los diferentes dispositivos y equipos de los experimentos. Este sistema DSS fue desarrollado por los grupos de trabajo de los cuatro experimentos del LHC, bajo el auspicio del grupo JCOP [94].</li> </ul>

Tabla A5. Caso de Uso Tabular – 5. Graficación del comportamiento de parámetros importantes (ED)

<b>Actores</b>	Experto en el Detector
<b>Descripción</b>	El software WinCC-OA® permite graficar los valores de los parámetros almacenados en la <i>base de datos archive</i> . Debido a que en ocasiones es necesario graficar las tendencias de comportamiento de ciertos DPEs ( <i>Data Point Elements</i> ), con el objetivo de monitorear el estatus del detector y su infraestructura. De igual forma, es importante conocer el historial de determinados parámetros (temperatura, voltaje, corriente, entre otros.).
<b>Datos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lista de DPEs que se desean graficar</li> <li>- Gráficas de tendencias de parámetros</li> </ul>

<b>Estímulo</b>	Selecciona una de las unidades (control, lógicos o dispositivo) agrupados de forma jerárquica que aparecen en el navegador de árbol FSM, en el lado izquierdo de la interface de usuario principal.
<b>Respuesta</b>	Visualiza las gráficas de tendencias definidas para ese nodo jerárquico en particular.
<b>Comentarios</b>	El <i>JCOP framework</i> llamado <i>FwTrending</i> permite definir y configurar los parámetros que se desean graficar [49, 72]. Es posible agrupar las definiciones de tendencias como una estructura tipo <i>árbol</i> ; para ello utiliza las notaciones tipo: páginas ( <i>pages</i> ), gráficas ( <i>plots</i> ) y curvas ( <i>curves</i> ).

Tabla A6. Caso de Uso Tabular – 6. Acceso restringido basado en roles (ED)

<b>Actores</b>	Experto en el Detector
<b>Descripción</b>	El acceso al DCS debe estar reservado únicamente para aquellos usuarios que están autorizados. Incluso mediante el uso de mecanismos de control de acceso del WinCC-OA®, los expertos del DCS del detector pueden habilitar o deshabilitar el ingreso de los usuarios a ciertas funcionalidades (únicamente monitoreo, operación de ciertos tipos de dispositivos, entre otras.) mediante la gestión de autorizaciones basadas en roles.
<b>Datos</b>	- Nombre de usuario/correo electrónico y contraseña ( <i>password</i> ) de la cuenta NICE de CERN - Definición y declaración de roles de usuarios
<b>Estímulo</b>	- Primeramente, los usuarios introducen su clave y contraseña para ingresan a la interfaz de usuario principal del DCS del detector. Posteriormente para hacer uso de los recursos del DCS deberán ser nuevamente validados y autenticados por el control de acceso del sistema. - El usuario remoto abre una Conexión de Escritorio Remota (RDC, <i>Remote Desktop Control</i> ) usando el alias " <i>cernts.cern.ch</i> ". Para posteriormente ingresar a un servidor de aplicación de ALICE y desde ahí realizar otra conexión al sistema de control deseado [121-122].
<b>Respuesta</b>	Los usuarios autorizados por el control de acceso del DCS podrán hacer uso del detector conforme al rol asignado como experto. La interfaz de usuario del detector accedido mostrará funcionalidades del sistema habilitadas y/o deshabilitadas dependiendo del rol del usuario.
<b>Comentarios</b>	- Las componentes de control de acceso de los <i>frameworks</i> JCOP y ALICE permiten proteger las partes de la Interfaz Hombre-Máquina (HMI) del Sistema de Control del acelerador LHC y los experimentos del CERN, incluyendo sus detectores [37, 50]. - Para configurar el control de acceso a los recursos del DCS se hace uso del panel <i>JCOP Framework Access Control</i> [50].

	<p>- El acceso remoto a la red del DCS está basada en los <i>gateways</i> de aplicación, los cuales son máquinas que permiten el ingreso remoto usando <i>Servicios de Terminal Windows</i> (WTS). Los WTS permiten sesiones remotas en el sistema operativo Windows® desde una computadora que se encuentra dentro o fuera del dominio de CERN, la cual pudiera tener un sistema diferente al de Windows® [4].</p>
--	---

Tabla A7. Caso de Uso Tabular – 7. Modelado mediante FSMs (ED)

<b>Actores</b>	Experto en el Detector
<b>Descripción</b>	<p>- La arquitectura de software del sistema de control del detector será enteramente jerárquica, y estará construido por tres tipos de nodos diferentes: unidad de control (CU), unidad lógica (LU) y unidad de dispositivo (DU) [43]. Una combinación de CUs, DUs y/o LUs se encuentra siempre en la estructura de árbol de un sistema de control. La jerarquía de cada detector puede tener un número arbitrario de niveles para proporcionar a los sub-detectores tantas capas de abstracción como se requieran [2].</p> <p>- El comportamiento y funcionalidad de cada unidad definida en el árbol de control puede ser modelado e implementado mediante el uso de una máquina de estado finito (FSM); el cual es un concepto fundamental en la implementación de la arquitectura de software del sistema de control [60].</p> <p>- Los objetos modelados aplicando FSMs tienen un conjunto finito de estados estables, así como una serie de comandos definidos en cada estado. Un objeto puede transitar entre los diferentes estados ejecutando acciones que son generadas por diversos eventos internos y/o externos. La representación gráfica del concepto de las FSMs se lleva a cabo por medio de diagramas de estado de CERN [6].</p>
<b>Datos</b>	<p>- Arquitectura de software</p> <p>- Elementos del Navegador de Árbol Jerárquico FSM</p> <p>- Comandos FSM</p> <p>- Estados FSM</p>
<b>Estímulo</b>	<p>Inicialmente, es necesario ingresar y autenticarse en el DCS del detector. Posteriormente, para que los comandos puedan ser generados directamente a través de una orden directa de un experto, es necesario que el usuario tenga el candado del DCS central para manejo del panel FSM CONTROL. Para ello será necesario realizar una solicitud al personal del ALICE RCC, y esperar a que el candado sea liberado para tomarlo e iniciar maniobras.</p>
<b>Respuesta</b>	<p>- Cuando una orden de comando se recibe en un nodo, se realiza la transición al nuevo estado, y se ejecutan una serie de acciones predefinidas en el sistema de software. Una vez terminada la intervención en el detector, es necesario liberar el candado de las FSMs y dar aviso al personal del RCC.</p> <p>- Las unidades de control (CU) y lógicas (CU) también aceptan comandos de los paneles de interfaces de usuario (UI) y/o sus CU padres. Los usuarios por medio de estos paneles también pueden enviar comandos hacia abajo dirigidos a sus hijos. En el nivel más bajo, esos comandos arriban a las DUs y son pasados al Hardware (los</p>

	<p>cuales son objetos declarados en la <i>vista de Hardware</i> del DEN o en la <i>vista Lógica</i> del DEN. Finalmente, en la vista FSM del DEN se declaran las acciones y estados de tipo lógico y dispositivo FSM que se establecieron para el DCS del detector [52-55].</p>
<b>Comentarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las FSMs son implementadas mediante un <i>JCOP Framework</i> denominado <i>Device Editor Navigator</i> (DEN) que no permite utilizar directamente los <i>DPs/DPEs</i> de WinCC-OA; sino que los elementos de hardware tienen que ser declarados en el apartado <i>Hardware View</i> del DEN.</li> <li>- La Interfaz del Administrador de Estado (<i>SMI++</i>, <i>State Management Interface</i>) es una estructura de software basada en el concepto original “<i>State Manager</i>” desarrollado por el experimento DELPHI [47] en colaboración con la División de Computo de CERN.</li> <li>- El framework <i>SMI++</i> permite describir el sistema de control de los detectores como una colección de objetos que se comportan como FSMs, las cuales están asociadas con partes del hardware o una tarea del software real. El lenguaje especial denominado <i>SML</i> es usado por el framework <i>SMI++</i> para la descripción de los objetos [73].</li> <li>- El software SCADA WinCC-OA® también permite particionar el sistema de control desde canales individuales de un detector hasta el detector completo, incluyendo subsistemas del mismo [73]. Las solicitudes de partición son realizadas al operador del DCS central, y requieren la autorización del líder de turno u otro responsable superior (RC o PRC). La habilitación y des-habilitación de particiones en el sistema de control son realizadas mediante candados en el panel FSM Control del DCS central.</li> </ul>

Tabla A8. Caso de Uso Tabular – 8. Configuración de parámetros para diferentes tipos de corridas (ED)

<b>Actores</b>	<p>Experto en el Detector, Experto en el DCS Central, Operador en el DCS Central, Líder de turno (SL, Shift Leader), Coordinador de Corridas (RC), Representante del RC (Deputy RC), Administrador de Corridas (Run Manager)</p>
<b>Descripción</b>	<p>El sistema de control del experimento ALICE, al igual que los demás experimentos del LHC, operarán como Máquinas de Estado Finito (FSM). Las transiciones de las FSMs requieren la reconfiguración de los sistemas de control del experimento. Todos los parámetros de configuración de los dispositivos que integran los sistemas de control son almacenados en una base de datos externa llamada base de datos de Configuración (<i>Configuration DB</i>) [123-125]. Esos datos pueden ser accedidos usando la Herramienta de Base de Datos de Configuración [56-59].</p>

<b>Datos</b>	- Datos de configuración del detector (información necesaria para la configuración de dispositivos controlados, límites operativos, límites de alarmas, configuración a almacenamiento, tasas de actualización de lectura, entre otras) [108].
<b>Estímulo</b>	El sistema de control del experimento (ECS) permitirá los procedimientos de calibración y configuración en los diferentes detectores dentro de una partición [3].
<b>Respuesta</b>	La información de configuración de los diferentes dispositivos del detector es cargada pertinentemente para los diferentes tipos de corridas definidas por el personal responsable en el ALICE RCC y del LHC.
<b>Comentarios</b>	- La tarea principal de la interfaz de FSM-Configuración DB es asegurar la disponibilidad de los datos de configuración en el software WinCC-OA, usados durante la transición FSM para los diferentes tipos de modo de corridas, como son: FISICAS, COSMICOS, CALIBRACIÓN, PEDESTALS, entre otras. Lo anterior se logra sincronizando el contenido de la base de datos de configuración y las caches internas de WinCC-OA® usadas por las FSMs al inicio de la corrida [56]. - Finalmente, en todos los detectores son necesario los procedimientos de calibración y configuración, especialmente su electrónica de lectura de frontera final (FERO) [87].

Tabla A9. Caso de Uso Tabular – 9. Operación y monitoreo del sistema de potencia (ED)

<b>Actores</b>	Experto en el Detector
<b>Descripción</b>	Los sistemas de control de alto (HV) y bajo (LV) voltaje permiten alimentar diferentes elementos y subsistemas del detector, electrónica de frontera final (FEE), tarjetas de adquisición y control, amplificadores de señal, Cajas de Distribución de Potencia (PDB), Unidades de Control de Potencia (PCU), Sistemas de Disparo ( <i>Trigger</i> ), entre otros [46-47].
<b>Datos</b>	- Canales de HV - Canales de LV - Jerarquía de control de HV y LV - Interfaces de control, monitoreo y configuración de los canales de HV y LV
<b>Estímulo</b>	a) Los operadores y expertos del DCS requieren monitorear comportamiento de los subsistemas y/o canales individuales de HV y LV mediante el uso de la interfaz de usuario. b) Los operadores requieren controlar y/o configurar el comportamiento de los subsistemas y/o canales individuales de HV y LV utilizando paneles FSM.
<b>Respuesta</b>	a) Los operadores y expertos del DCS visualizar correctamente el comportamiento de los parámetros de alto y bajo voltaje. b) Los usuarios autorizados controlan y configuran los subsistemas y canales de HV y LV en los paneles FSM correspondientes.

<b>Comentarios</b>	Los sistemas de control de HV y LV deberán incluirse en la jerarquía FSM; por consiguiente, es necesario implementar diagramas de estado (generalmente común) para todos los CUs y LUs en el sistema de control de LV y HV. En el nivel de dispositivo (DU), se tiene que diseñar e implementar un diagrama de estado dedicado para modelar el comportamiento de las fuentes de HV y LV a través de sus correspondientes DUs.
<b>Nota</b>	Cabe mencionar que las fuentes de alto y bajo voltaje son usadas para alimentar detectores de partículas y sus subsistemas en los experimentos asociados con el <i>Gran Colisionador de Hadrones</i> (LHC) del CERN. Esas unidades están instaladas en áreas con ambientes hostiles, así como con una radiación significativa y fuertes campos magnéticos [48].

Tabla A10. Caso de Uso Tabular – 10. Integración al DCS central de ALICE (ED)

<b>Actores</b>	Experto en el Detector, Experto en el DCS Central
<b>Descripción</b>	Para la integración del sistema de control de un detector en el DCS central de ALICE durante la corrida 2 del LHC, es necesario cumplir con los diversos requisitos establecidos por el grupo ACC [34-35].
<b>Datos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integración de las FSMs (envío de comandos GO_SAFE/GO_SUPERSAFE, almacenamiento en SOR/EOR, nodos del árbol FSM del detector, condición de <i>Magnet Safe</i>)</li> <li>- Visibilidad de paneles del usuario</li> <li>- Botón de emergencia</li> <li>- Información del LHC y sistemas externos</li> <li>- Alarmas (alertas)</li> <li>- Ayuda de alarmas</li> <li>- Pantallas web</li> </ul>
<b>Estímulo</b>	En principio, el experto diseñador del DCS del detector evaluará el desempeño del sistema de control del detector, haciendo pruebas de funcionamiento de los sistemas más importantes que requiere el sistema en conformidad con los requerimientos del grupo ACC.
<b>Respuesta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Al terminar de realizar las pruebas de integración del DCS del detector del nuevo detector, se estará en condiciones de integrar al DCS central de experimento. Adicionalmente, el experto en DCS del detector puede revisar los resultados de las pruebas de integración previo a su revisión con el grupo de control ALICE.</li> <li>- Si una o más de las pruebas de integración no sean satisfactorias, el experto en el detector atenderá las recomendaciones para una posterior evaluación. En ese caso, los expertos evaluadores del DCS central determinarán si el sistema de control del detector está en condiciones de ser integrado en el sistema de control global, y operar al igual que los demás detectores.</li> </ul>

<b>Comentarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El sistema debe responder de acuerdo con las especificaciones y normatividad definidas para cada tipo de prueba por parte del personal del grupo ACC.</li> <li>- Adicionalmente a las pruebas antes mencionadas, es necesario evaluar el desempeño del DCS de todos los detectores para los diferentes tipos de corridas en el experimento ALICE, para de esta manera conocer si están funcionando de forma correcta.</li> </ul>
--------------------	---

## A.2 Casos de Uso Tabular para el Experto en el DCS Central de ALICE

Tabla A11. Caso de Uso Tabular – 1. Uso y aplicación del software SCADA y frameworks actualizados (EDCSC)

<b>Actores</b>	Experto en el DCS Central, Experto en el detector
<b>Descripción</b>	Uno de los requerimientos más importantes al inicio del desarrollo de cualquier sistema de control, y a lo largo de su tiempo de vida útil es la actualización y/o migración de su sistema de software SCADA [34-35]. De igual manera, es de gran relevancia la constante actualización de las herramientas comunes de los sistemas de control, como son los <i>frameworks</i> JCOP y ALICE.
<b>Datos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Software SCADA WinCC-OA®</li> <li>- Herramientas de desarrollo <i>framework</i> JCOP y ALICE.</li> </ul>
<b>Estímulo</b>	El experto del DCS del detector abre el software del sistema de control de su detector o aplica alguna de las herramientas <i>framework</i> JCOP y ALICE.
<b>Respuesta</b>	Podrán ser utilizadas las últimas versiones del software SCADA, frameworks JCOP y ALICE, conforme a las recomendaciones del grupo ACC.
<b>Comentarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El <i>framework</i> JCOP proporciona herramientas y componentes para implementar tareas comunes del sistema de control, tales como: FSMs, acceso a base de datos, interfaces de usuario básicas, configuración, control de acceso, comunicación, entre otros.</li> <li>- Por otro lado, el <i>framework</i> ALICE fue desarrollado para proporcionar herramientas usadas por los expertos del sub-detector en la construcción de sus aplicaciones. Con el objetivo de asegurar la homogeneidad y simplificar la integración de los componentes desarrollados de manera independiente [2].</li> <li>- El grupo de Coordinación de Controles de ALICE (ACC) es el encargado de coordinar las actividades en el sistema de control del experimento ALICE; en colaboración con los grupos de expertos de los detectores, grupos de los sistemas en línea, y diferentes grupos de servicio del CERN [2]. Asimismo, el grupo ACC recolecta los requerimientos de control comunes de cada uno de los subsistemas involucrados en las denominadas URDs (<i>User Requirements Documents</i>) [42].</li> </ul>

Tabla A12. Caso de Uso Tabular – 2. Evaluación operativa de las condiciones especiales (EDCSC)

<b>Actores</b>	Experto en el DCS Central, Experto en el detector
<b>Descripción</b>	Otro de los requisitos importantes para realizar la integración de los sistemas de control de los detectores del experimento ALICE, es la evaluación operativa en condiciones especiales.
<b>Datos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comandos para transición entre las condiciones de SAFE/SUPERSAFE</li> <li>- Comandos de transición en condiciones de <i>Magnet Safe</i></li> <li>- Parámetros almacenados durante SOR/EOR (Fast SOR, EOR)</li> </ul>
<b>Estímulo</b>	<p>Los detonantes para la verificación del estado del modelado FSM en el sistema de control pueden ser:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Iniciar pruebas de transición del experimento ALICE hacia algunos de sus condiciones posibles: READY, SAFE o SUPERSAFE; mediante el envío de los comandos GO_SAFE y GO_SUPERSAFE, así como las condiciones de <i>Magnet Safe</i>.</li> <li>b) Al Inicio y al fin de una corrida en el experimento ALICE, los detectores deberán enviar los datos condicionales a la base de datos archive, y posteriormente a la OCDB; durante una corrida este envío de parámetros se puede presentar en varias ocasiones dependiendo del tipo de configuración.</li> </ol>
<b>Respuesta</b>	<p>Las respuestas del modelado del DCS a los estímulos mencionados anteriormente se espera que sean:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Operar ALICE correctamente cuando exista toma datos con diferentes condiciones de haz, así como para proteger al experimento, detectores y sus subsistemas, bajo condiciones de SAFE/SUPERSAFE y <i>Magnet Safe</i>.</li> <li>b) Los valores configurados como <i>archiving</i> se reciben al inicio y al final de cada corrida. Con el objetivo de acelerar los procedimientos de SOR y EOR. Las unidades FSMs reciben los comandos del ECS, posteriormente disparan el archivo y pasan el comando al equipo de lectura de salida (<i>readout</i>) del detector.</li> </ol>
<b>Comentario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los expertos de los detectores del DCS deberán implementar y/o actualizar sus sistemas de control del que son responsables, conforme a los lineamientos y especificaciones del grupo ACC. De no cumplirse con los requisitos anteriores, el DCS del detector corre el riesgo de no ser integrado al DCS central o en su defecto que no funcione de manera correcta durante su operación y toma de datos.</li> <li>- El personal del ACC se encarga de proporcionar asesorías, instrucciones, scripts de programación, y paneles para guiar la integración, migración y/o actualización del modelado FSM de los sistemas de control de los detectores.</li> </ul>

Tabla A13. Caso de Uso Tabular – 3. Evaluación operativa de las interfaces de usuario (EDCSC)

<b>Actores</b>	Experto en el DCS Central, Experto en el Detector, Operadores del DCS central
----------------	---

<b>Descripción</b>	Para el proceso de integración del DCS del detector en el DCS central es importante que las interfaces de usuario (UI) del detector sean visibles y operables desde los paneles de acceso por los diferentes expertos y operadores del DCS central de ALICE.
<b>Datos</b>	- Interfaz de usuario principal y para los diferentes nodos FSMs del DCS - Estados y comandos configurados en los nodos FSMs del DCS
<b>Estímulo</b>	- El experto en el DCS Central abre el sistema de control del detector a revisar y selecciona diferentes nodos del explorador del árbol jerárquico FSM en el panel de usuarios del DCS central. - Asimismo, durante la revisión en el proceso de integración se prueban ciertas funcionalidades de las UIs, así como las transiciones de estados y envío de comandos del sistema de control.
<b>Respuesta</b>	- Las UIs deberán de ser visibles y transitorias dependiendo del nodo del árbol FSM seleccionados. - La transición entre estados finitos mediante el envío de comandos debe ser acuerdo a los requerimientos definidos para el funcionamiento del detector y apegados a la normatividad de la ACC.
<b>Comentarios</b>	-Para realizar la integración del sistema de control del detector por parte de los expertos del DCS central, es importante que las UIs puedan ser visualizadas por los diferentes usuarios, y se encuentren operando de acuerdo con los requerimientos del detector. - El diseño de las interfaces de usuario estándar es proporcionado por el grupo de la Coordinación de Controles de ALICE (ACC) [66].

*Tabla A.14. Caso de Uso Tabular – 4. Evaluación operativa de los requerimientos adicionales (EDCSC)*

<b>Actores</b>	Experto en el DCS Central, Experto en el Detector
<b>Descripción</b>	Adicionalmente existen requisitos que los sistemas de control de los detectores deben de cumplir para ser integrados en el DCS central del experimento ALICE entre los se encuentran: configuración de alarmas (alertas), instrucciones de ayuda de alarmas, y capturas de pantalla para la página web.
<b>Datos</b>	- Configuración de alarmas para parámetros importantes del DCS - Instrucciones de ayuda de alarmas [120] - Capturas de pantalla del detector para la página web

<b>Estímulo</b>	<p>a) El experto en el DCS central revisa las configuraciones de alertas e instrucciones de ayuda correspondientes definidas para el detector, previo a su integración o durante el proceso de pruebas.</p> <p>b) El experto del DCS del detector envía las capturas de pantalla del detector que considere pertinentes al experto en el DCS central.</p>
<b>Respuesta</b>	<p>a) El experto en el DCS Central responsable de la integración del detector encuentra que en el sistema de control están configuradas las alertas para determinados parámetros predefinidos; así como sus instrucciones de ayuda correspondientes.</p> <p>b) Las capturas de pantalla son publicadas en la página web de monitoreo de los sistemas de control de ALICE [126].</p>

### A.3 Casos de Uso Tabular para el Operador en el DCS Central de ALICE

Tabla A.15. Caso de Uso Tabular – 1. Visualización de alarmas e instrucciones de ayuda de alarmas (ODCSC)

<b>Actores</b>	Operador en el DCS Central, Experto en el Detector, Líder de turno (SL)
<b>Descripción</b>	Para una mayor eficiencia en las actividades del operador del DCS en el punto 2 del LHC y de los detectores del experimento, es necesario el uso de la configuración de alarmas en parámetros considerados importantes y/o críticos [4-5]. Así como una descripción clara y precisa de las instrucciones de ayuda para el restablecimiento operativo del detector, en caso de alguna falla o disturbio.
<b>Datos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Configuración de las alarmas de parámetros</li> <li>- Instrucciones de ayuda [120]</li> </ul>
<b>Estímulo</b>	Aparece una señal de alarma del detector en el panel de AES del operador en el DCS central debido al valor no deseado o fuera de rango de uno o más parámetros.
<b>Respuesta</b>	El operador del DCS se percata de la alerta e informa al líder de turno y sigue las instrucciones de ayuda para el restablecimiento normal del detector. En caso de que la falla continúe será necesario llamar al responsable <i>on-call</i> del detector o subsistema del mismo, según corresponda.
<b>Comentarios</b>	En caso de que existan dos o más alarmas activas al mismo tiempo, se recomienda que el operador del DCS responda primeramente las alertas de mayor grado de severidad en el orden cronológico de aparición.

Tabla A16. Caso de Uso Tabular – 2. Operación de FSMs (ODCSC)

<b>Actores</b>	Operador en el DCS Central, Experto en el Detector, Líder de turno (SL)
----------------	---

<b>Descripción</b>	El diseño del DCS debe ser de tipo jerárquico, representado como un árbol compuesto de sistemas de detectores. Cada detector está compuesto de subsistemas [43-44]. A su vez los subsistemas están estructurados por nodos intermedios, dispositivos ( <i>crates</i> , tarjetas) y canales individuales. Una de las actividades más recurrentes del operador con el DCS de los sub-detectores es la habilitación o des-habilitación de particiones en el panel FSM, previa autorización del líder de turno en conformidad con el experto del detector. Únicamente en casos especiales el operador enviará comandos en el panel FSM control hacia algún nodo de un detector determinado, a solicitud expresa del SL.
<b>Datos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arquitectura de software</li> <li>- Elementos del Panel FSM Control</li> <li>- Configuración de los nodos del árbol jerárquico del detector mediante FSMs</li> </ul>
<b>Estímulo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) El operador en el DCS podrá seleccionar cualquier nodo en el navegador del árbol jerárquico FSM de la interfaz del DCS estándar. Los comandos pueden ser generados directamente a través de una orden directa del operador o nodo superior, o en su defecto por el cambio de estado de otro nodo.</li> <li>b) El operador podrá deshabilitar desde un detector completo hasta sub-árboles del mismo utilizando el panel FSM Control.</li> </ul>
<b>Respuesta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) El operador visualizar, seleccionar y enviar comandos hacia los elementos que constituyen la estructura jerárquica FSM del detector; además de monitorear, controlar y configurar los elementos definidos en sus respectivas interfaces de usuario subyacentes.</li> <li>b) El experto en el detector podrá realizar las maniobras requeridas en la partición deshabilitada. Una vez finalizadas las operaciones, el experto del detector solicitará la habilitación de la ramificación particionada.</li> </ul>
<b>Comentarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El diseño del sistema estará construido por unidades de diferente tipo, en el que el comportamiento y funcionalidad de cada una de ellas estará definida en el árbol de control puede ser modelado e implementado mediante el uso de FSMs. Los nodos modelados aplicando FSMs tienen un conjunto finito de estados estables, así como una serie de comandos definidos en cada estado [52-53].</li> <li>- El modelado FSM se realiza aplicando la herramienta <i>SMI++</i>, la cual esconde la complejidad del experimento al operador del DCS, y se enfoca básicamente en aspectos operativos [91]. Para representar el comportamiento de las unidades modeladas mediante FSMs, se utilizan <i>diagramas de estado</i>, los cuales están estandarizados para canales y dispositivos del mismo tipo. Finalmente, el DCS maneja estados normalizados para precisar el estatus del detector.</li> </ul>

Tabla A.17. Caso de Uso Tabular – 3. Definición del estado del detector para las condiciones especiales (ODCSC)

<b>Actores</b>	Operador en el DCS Central, Experto en el Detector, SL, RC, DRC, Run Manager
----------------	--

<b>Descripción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Por cuestiones de seguridad es importante proteger los componentes del detector y elementos de hardware que integran los subsistemas del mismo, principalmente para condiciones especiales. Uno de ellos se presenta cuando el operador requiere utilizar el panel <i>Magnet Safe</i>, para llevar a los detectores a un estado compatible con la operación de los magnetos.</li> <li>- Otro caso se presenta cuando es necesario que el experimento ALICE se encuentre en condiciones de SAFE o SUPERSAFE, como cuando se realiza el procedimiento de intercambio (<i>handshake</i>) con el LHC [4-6].</li> </ul>
<b>Datos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estado del detector para condiciones de <i>Magnet Safe</i> en ALICE</li> <li>- Estado del detector para condiciones de SAFE/SUPERSAFE</li> </ul>
<b>Estímulo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Las operaciones de ascenso (<i>ramp up</i>) y descenso (<i>ramp down</i>) de la corriente de los magnetos del experimento son acciones coordinadas entre personal del CCC en el LHC y ALICE (<i>RC/Deputy RC/Run Manager</i>). Previo al inicio de estas operaciones, es necesario que ALICE se encuentre en un estado compatible.</li> <li>b) En varias operaciones con el LHC se requiere que los detectores sean compatibles con la llamada condición SAFE. En otras será necesario que los detectores deban de poner más restricciones en sus ajustes, como son las condiciones SUPERSAFE.</li> </ul>
<b>Respuesta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Al terminar las operaciones de ascenso y descenso de los magnetos, las condiciones de los estados se normalizan nuevamente, sin que el detector y sus subsistemas hayan sufrido algún tipo de afectación. Posteriormente, el detector se restablece para su operación.</li> <li>b) Una vez que se ha concluido el procedimiento previsto, si el experimento ALICE se encontraba en condición SAFE podrá ser cambiado directamente a estado READY. En caso de haberse encontrado en un principio en una condición SUPERSAFE, pasará primeramente por el estado SAFE, y finalmente hacia el estado READY.</li> </ul>
<b>Comentarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Algunos detectores son sensitivos a los estados del magneto, por lo que es necesario llevarlos a un estado compatible antes de iniciar su transición.</li> <li>- Los detectores no deben ser operados mientras uno o ambos magnetos (dipolo/solenoide) están en estado ascendente o descendente.</li> <li>- Si cualquier detector pasa de una condición SUPERSAFE directamente a una READY, podría sufrir daños [4-5].</li> </ul>

Tabla A.18. Caso de Uso Tabular – 4. Monitoreo en las interfaces de usuario del detector (ODCSC)

<b>Actores</b>	Operador en el DCS Central, Experto en el Detector, Líder de Turno (SL)
----------------	---

<b>Descripción</b>	Es deseable que el operador en el DCS central en el ALICE RCC pueda visualizar las interfaces de usuario del detector, a pesar de que rara vez hace una intervención directa en alguna de las mismas; a no ser que esta solicitud sea realizada por el líder de turno (SL) en coordinación con el experto en el detector. También pudiera presentarse el caso de que una ayuda de alarma así lo indique.
<b>Datos</b>	- Interfaces de usuario del detector
<b>Estímulo</b>	El operador abre la interfaz de usuario principal y/o adicionales del detector para realizar un monitoreo en el mismo; usando como herramienta la interfaz de usuario del mismo, previa autorización del SL y aprobación del experto en el DCS del detector.
<b>Respuesta</b>	El operador en el DCS central puede visualizar todos los elementos de la interfaz de usuario del detector, sin que presente algún tipo de falla en primera instancia. El operador pudiera realizar pequeñas intervenciones en el detector, únicamente cuando se le hace una solicitud expresa por el personal responsable, y la situación lo amerite.
<b>Comentarios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para facilitar las actividades de operación del personal del DCS en el ALICE RCC, las interfaces de usuario requieren un alto nivel de uniformidad. Debido a lo anterior, se desarrolló una herramienta de infraestructura usada por todos los sub-detectores para implementar las interfaces de usuario.</li> <li>- El hecho de que las interfaces de usuario no aparezcan en las pantallas del operador en el DCS central, puede hacer pensar que existe una falla en el funcionamiento directo en el detector; aun cuando pudiera estar funcionando correctamente. También podría generar llamadas continuas al responsable <i>on-call</i> y/o al experto del DCS del detector.</li> </ul>

## **B. Diagramas de Actividad UML de los Interesados**

## B.1 Diagramas de Actividades UML para el Experto en el Detector

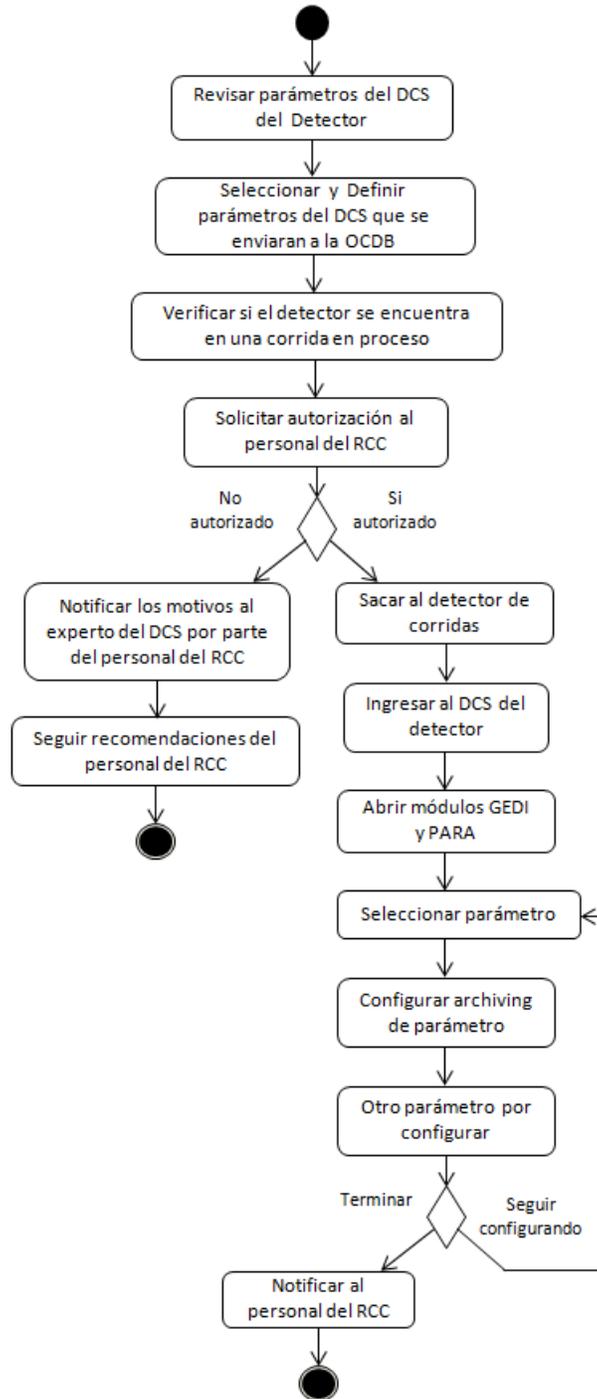


Figura B.1. Diagrama de Actividades – 1. Almacenamiento de los parámetros que determinan las condiciones de operación. a) Selección y definición de los parámetros en el archiving del DCS (ED)

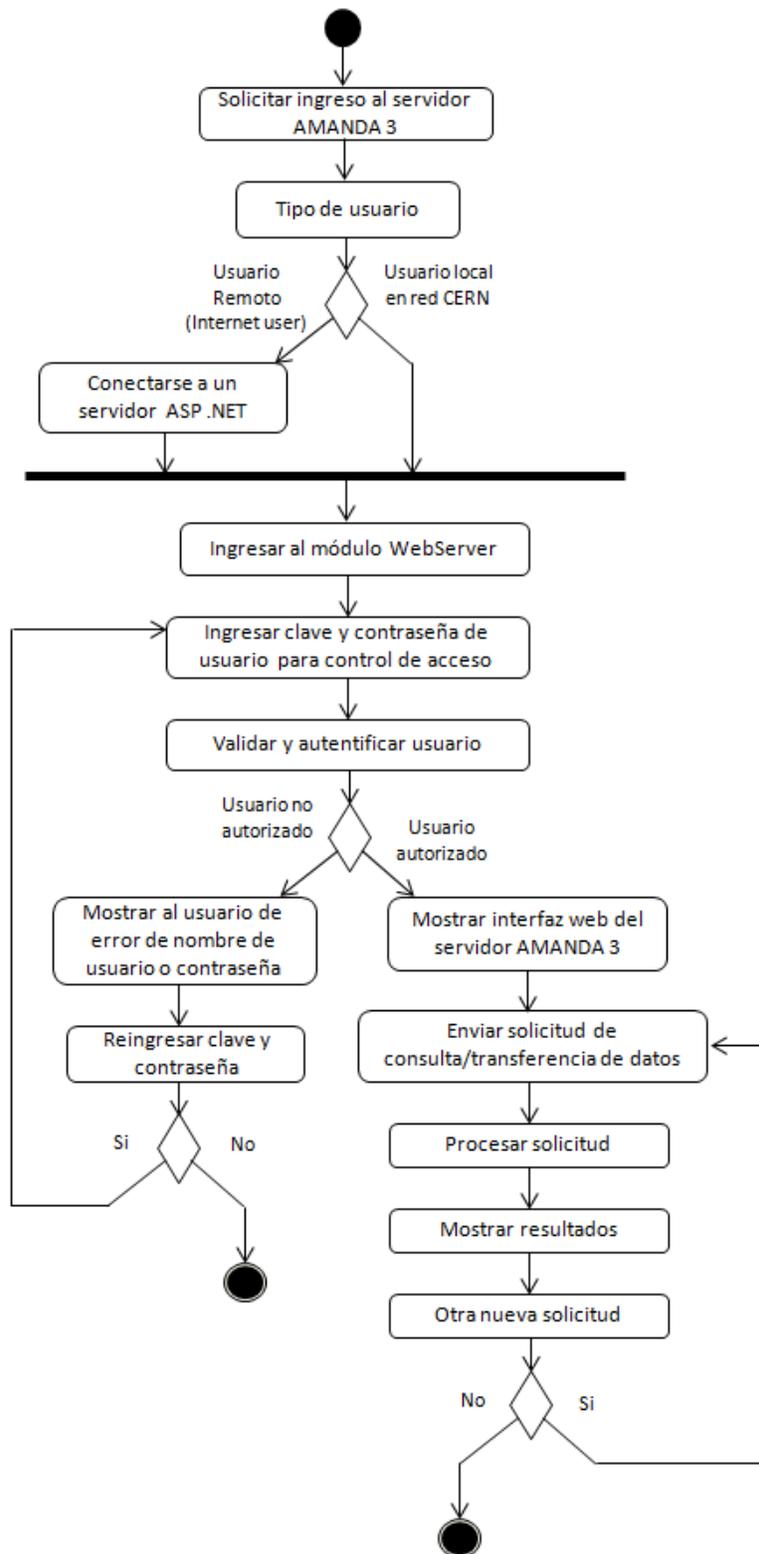


Figura B2. Diagrama de Actividades – 1. Almacenamiento de los parámetros que determinan las condiciones de operación. b) Consulta/transferecia de datos entre archivos del DCS y clientes (ED)

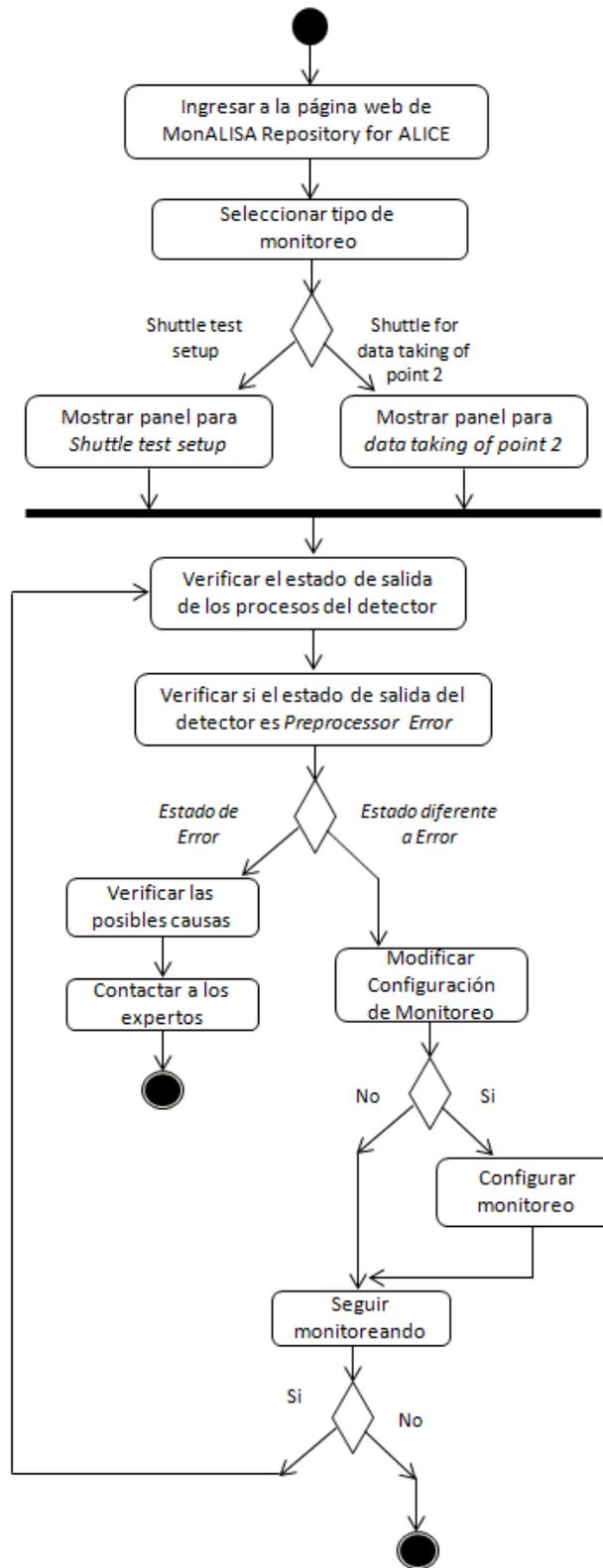


Figura B.3. Diagrama de Actividades – 1. Almacenamiento de los parámetros que determinan las condiciones de operación. c) Monitoreo del estatus del framework Shuttle de los detectores (ED)

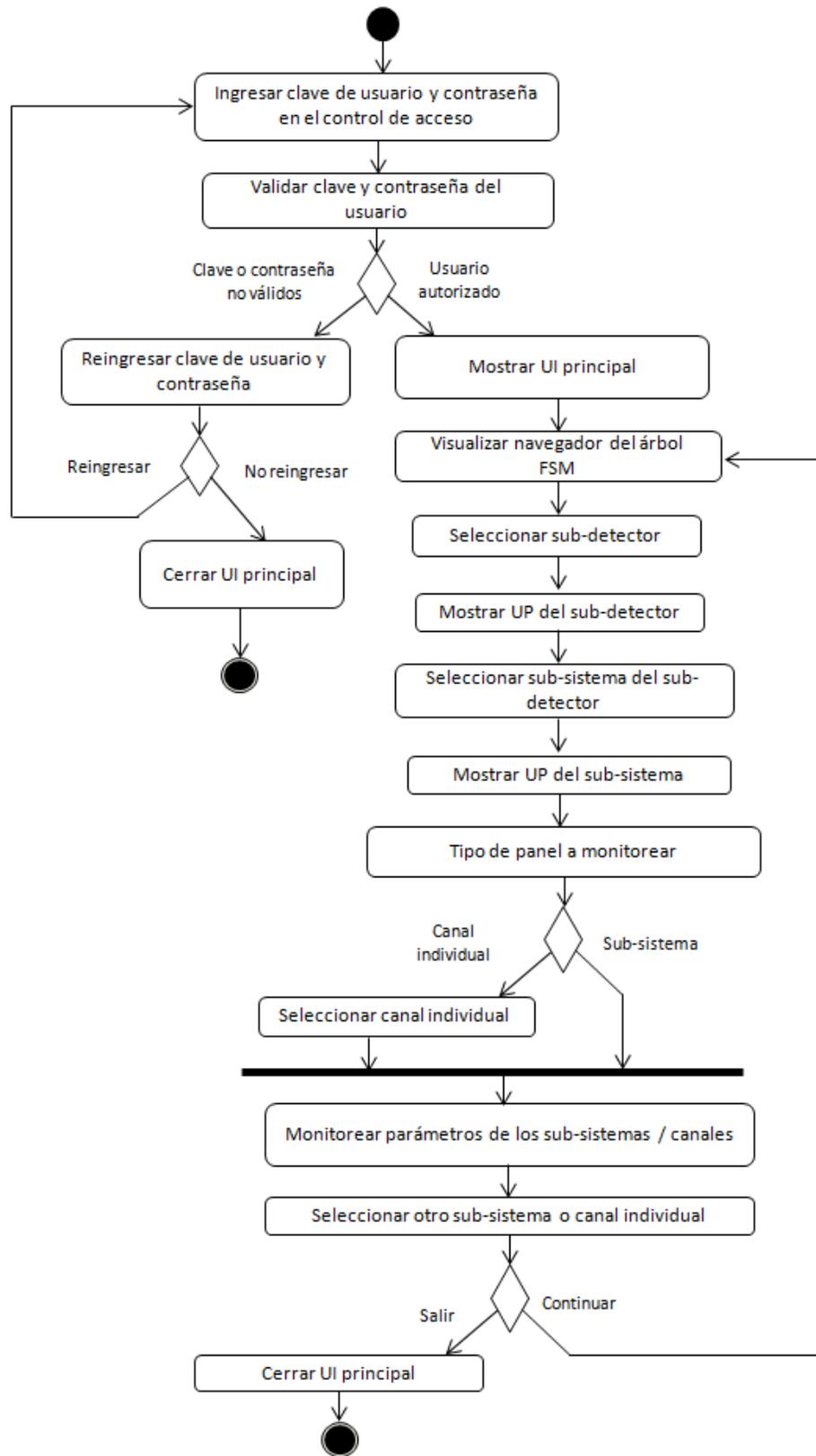


Figura B.4. Diagrama de Actividades – 2. Interacción mediante el uso de interfaces de usuario.  
a) Monitoreo de subsistemas/canales (ED)

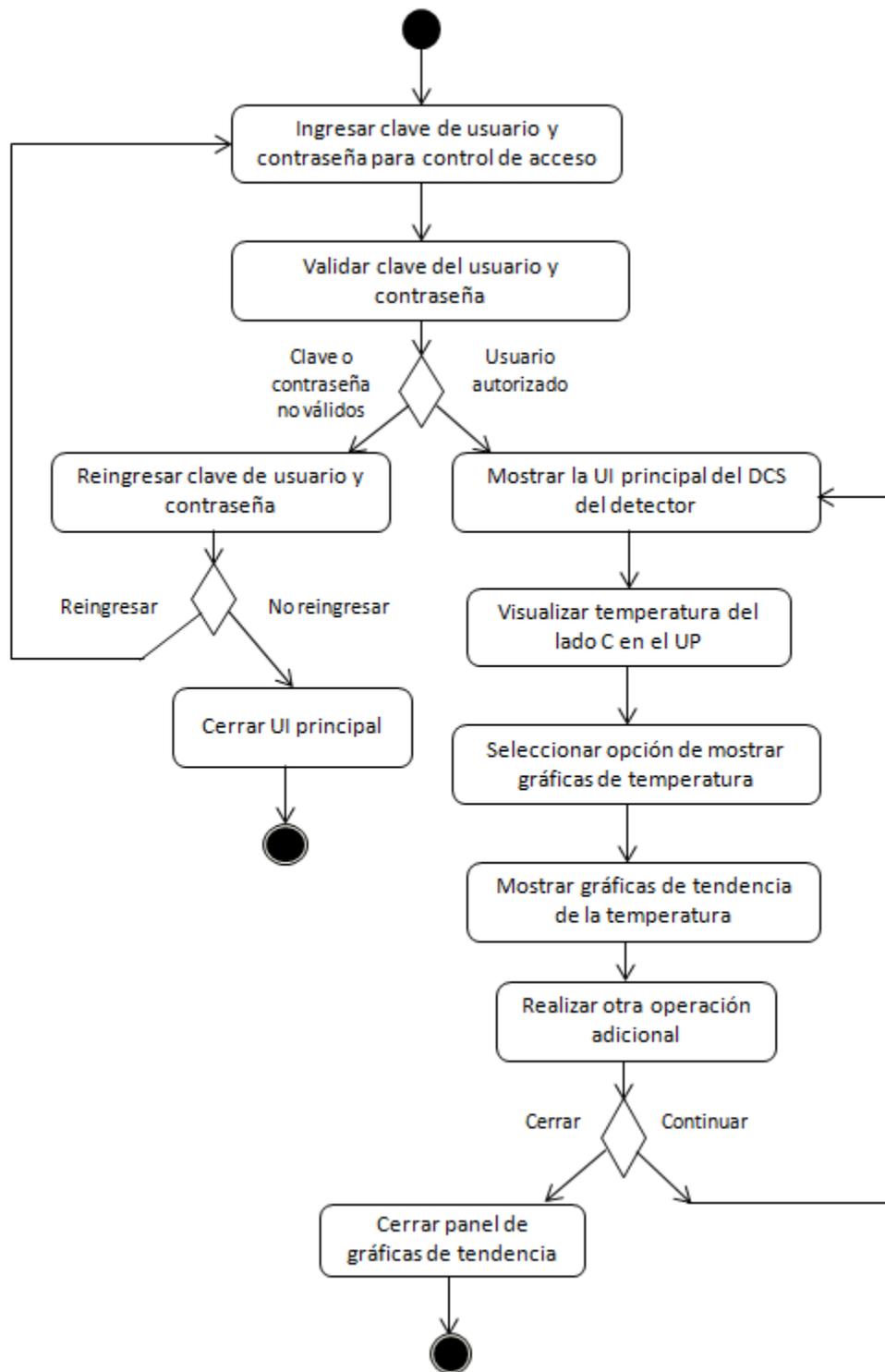


Figura B.5. Diagrama de Actividades – 2. Interacción mediante el uso de interfaces de usuario b) Ejemplo de panel para visualización y monitoreo de temperatura (ED)

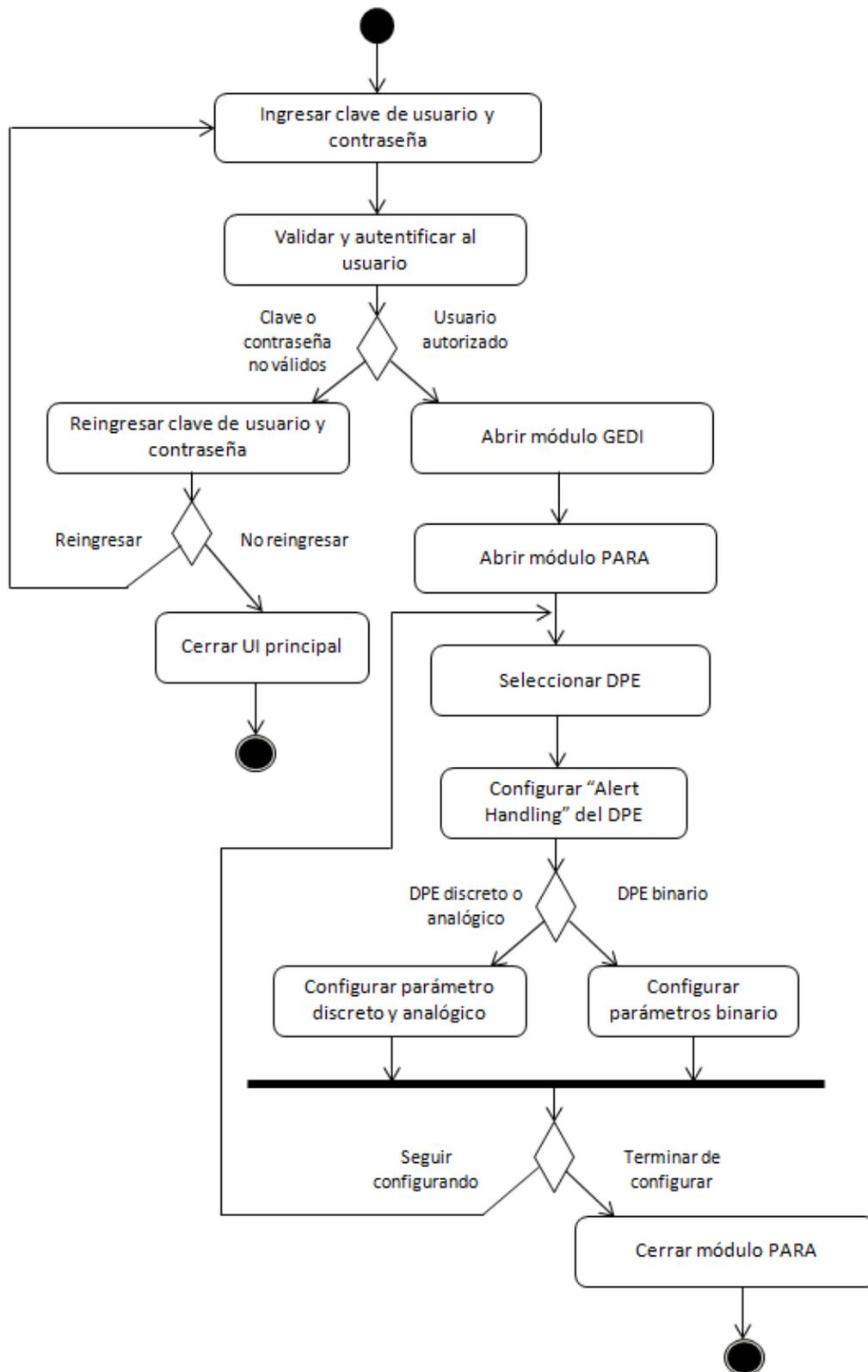


Figura B.6. Diagrama de Actividades – 3. Configuración de alarmas de seguridad (ED)

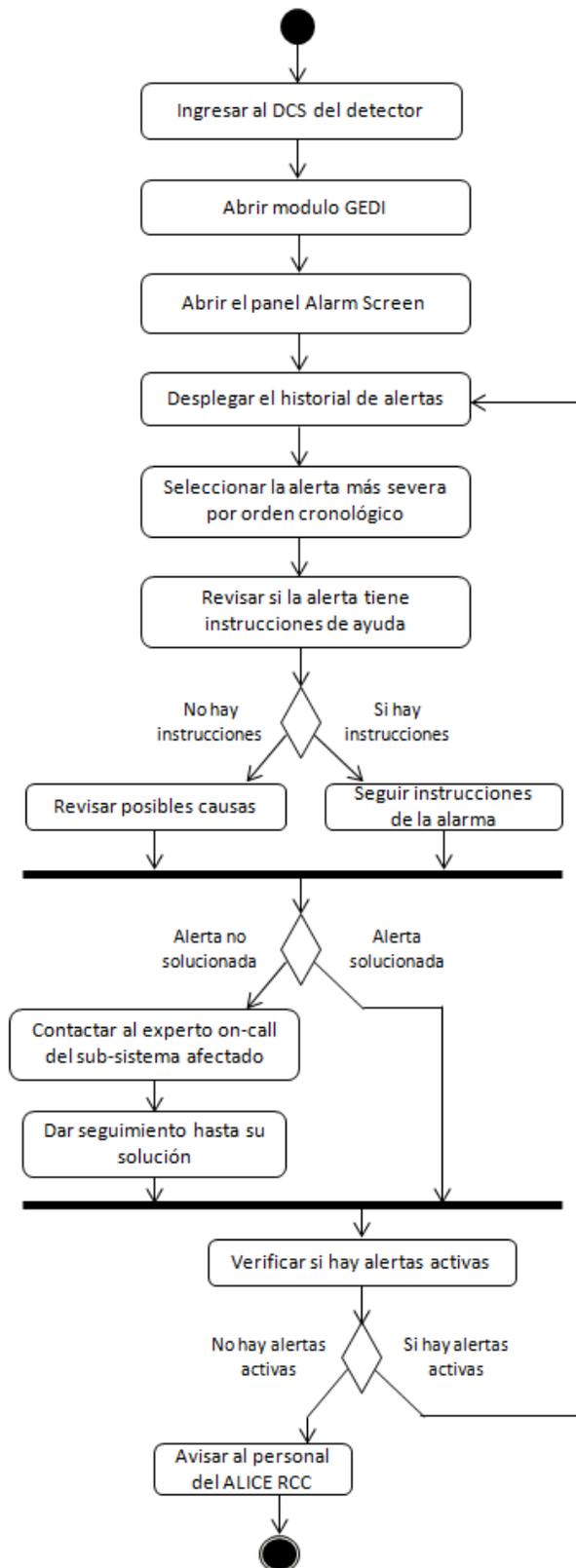


Figura B.7. Diagrama de Actividades – 4. Configuración de instrucciones de ayuda de alarmas (ED)

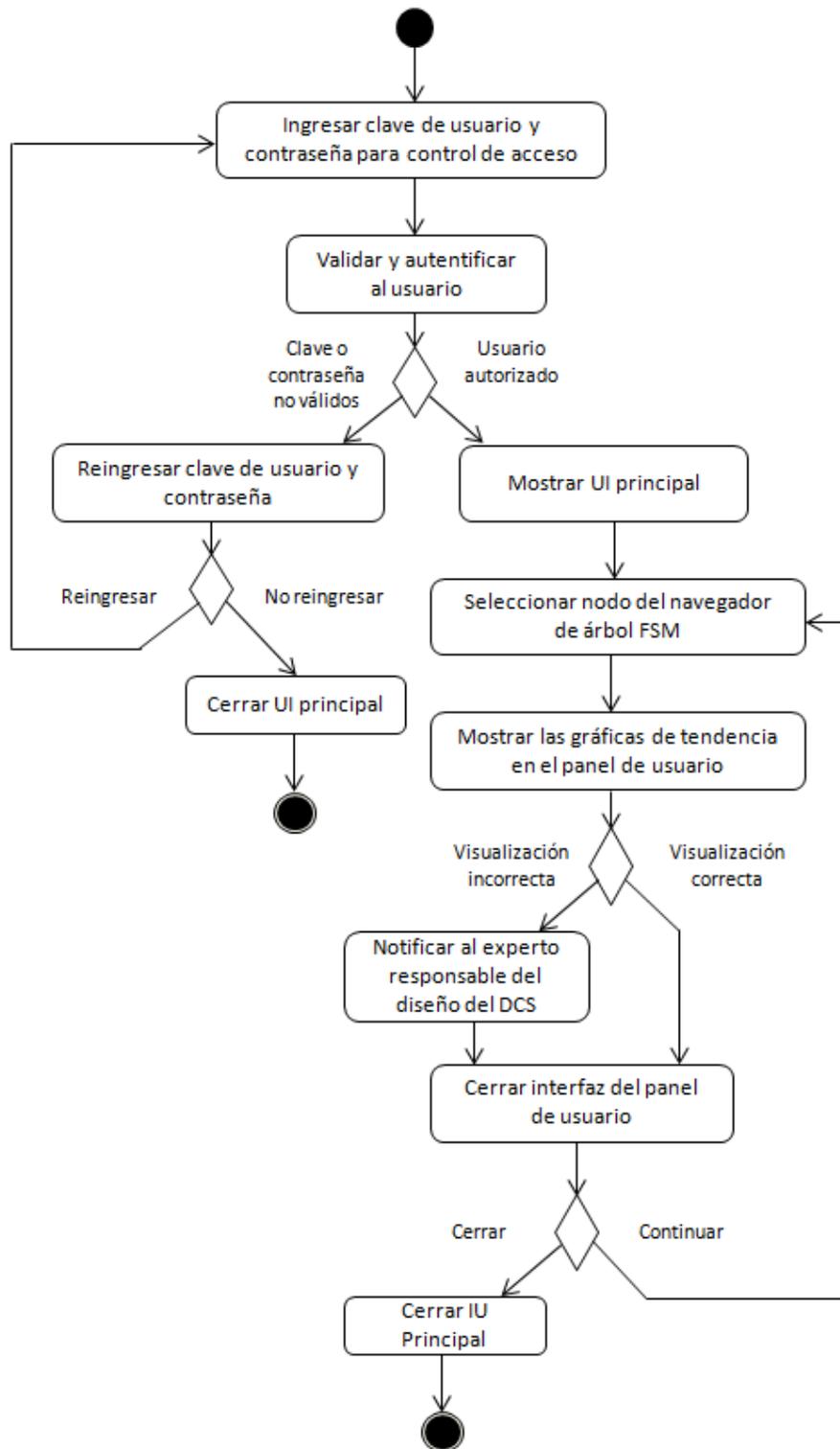


Figura B.8. Diagrama de Actividades – 5. Graficación del comportamiento de parámetros importantes (ED)

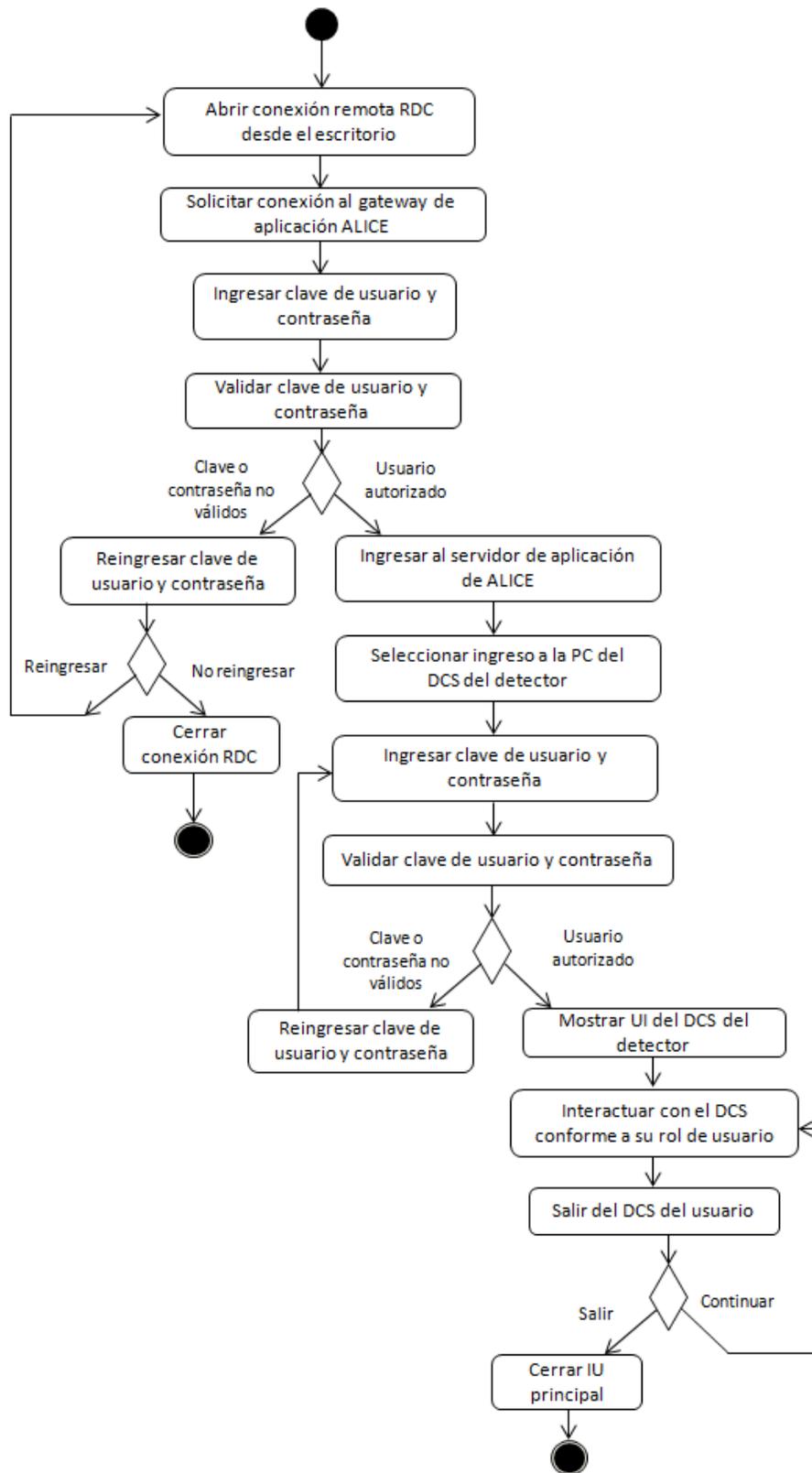


Figura B.9. Diagrama de Actividades – 6. Acceso restringido basado en roles (ED)

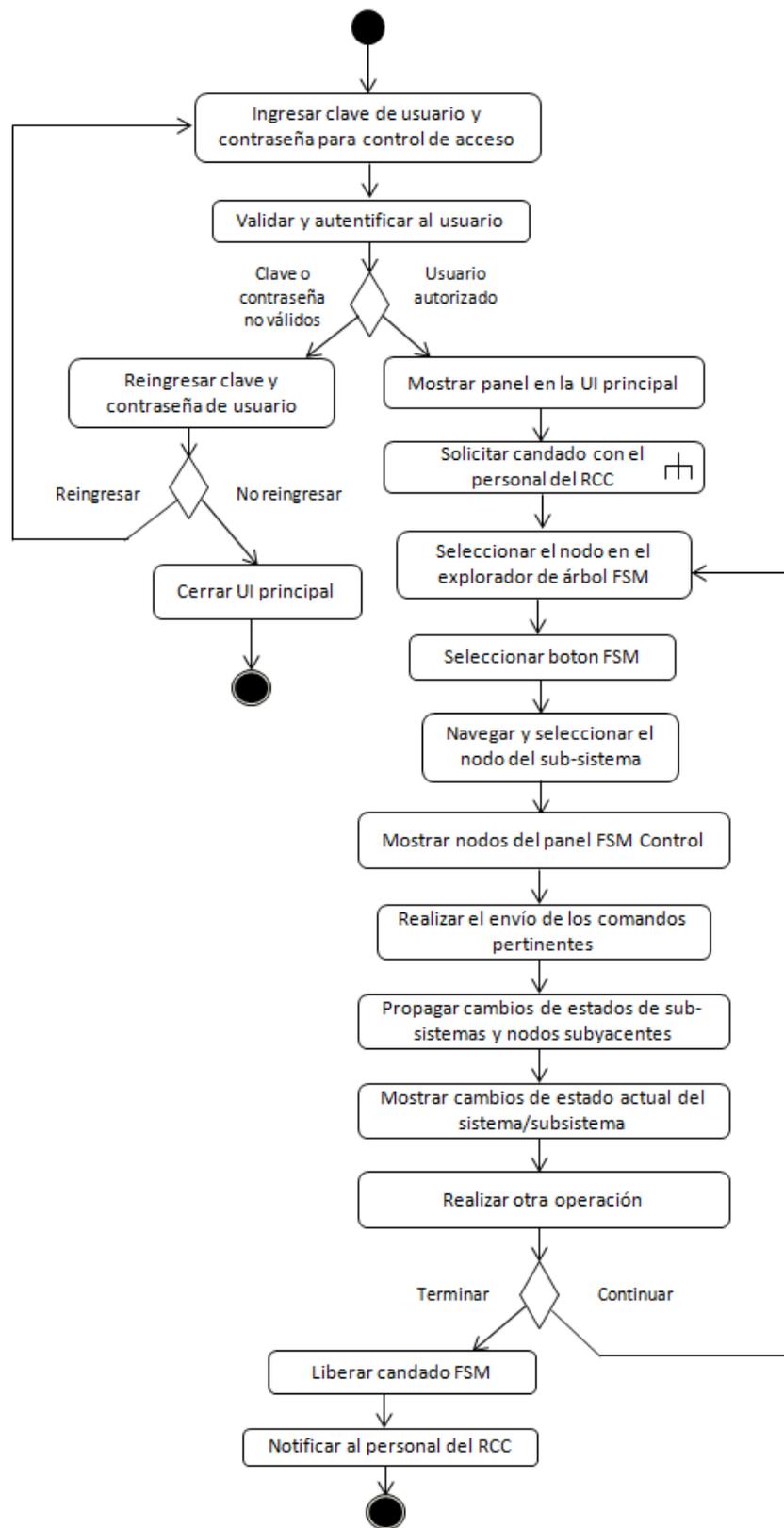
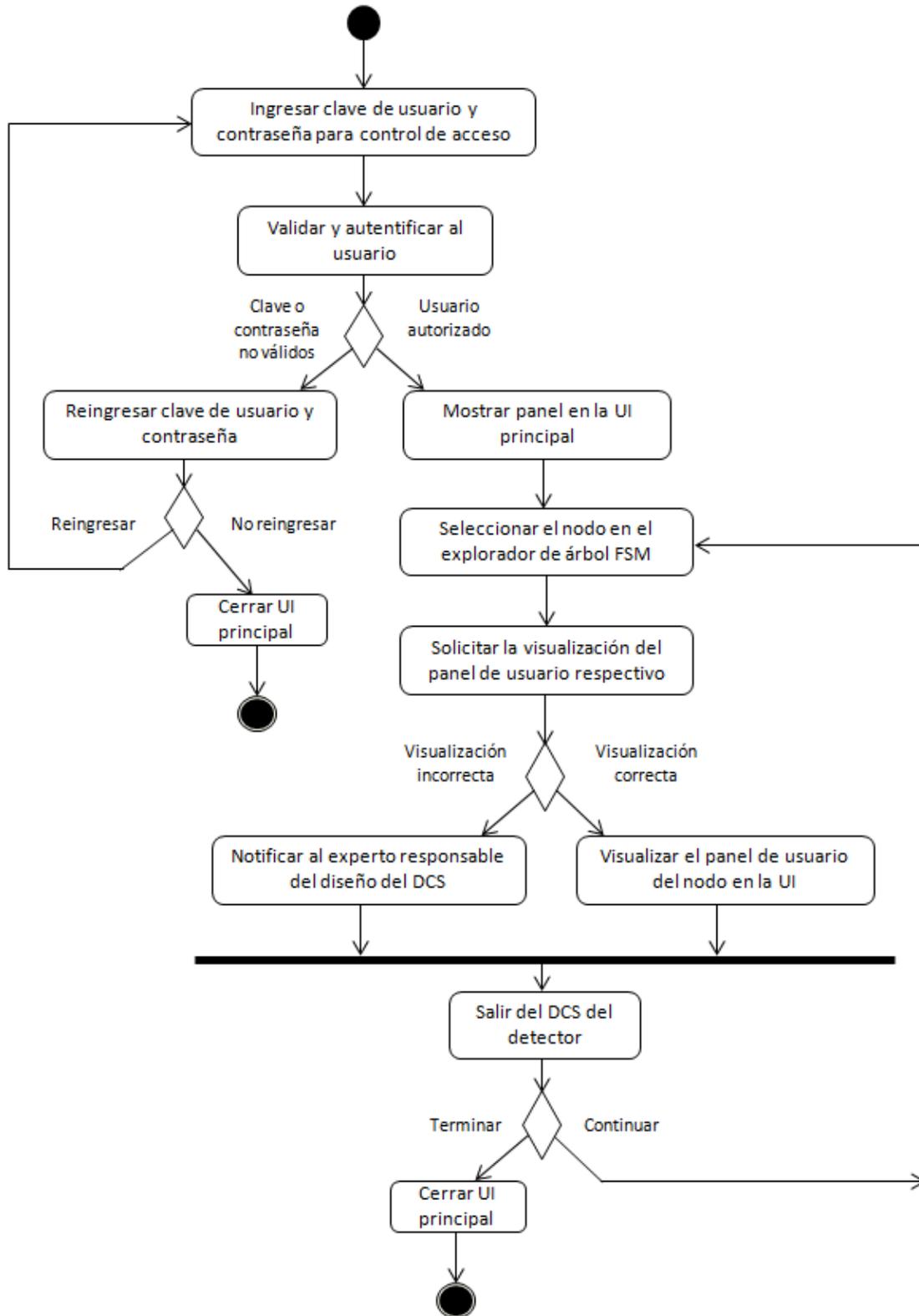


Figura B.10. Diagrama de Actividades – 7. Modelado mediante FSMs  
 a) Intervención aplicando panel de control FSM (ED)



*Figura B.11. Diagrama de Actividades – 7. Modelado mediante FSMs*  
*Visualización de panel aplicando control FSM (ED)*

b)

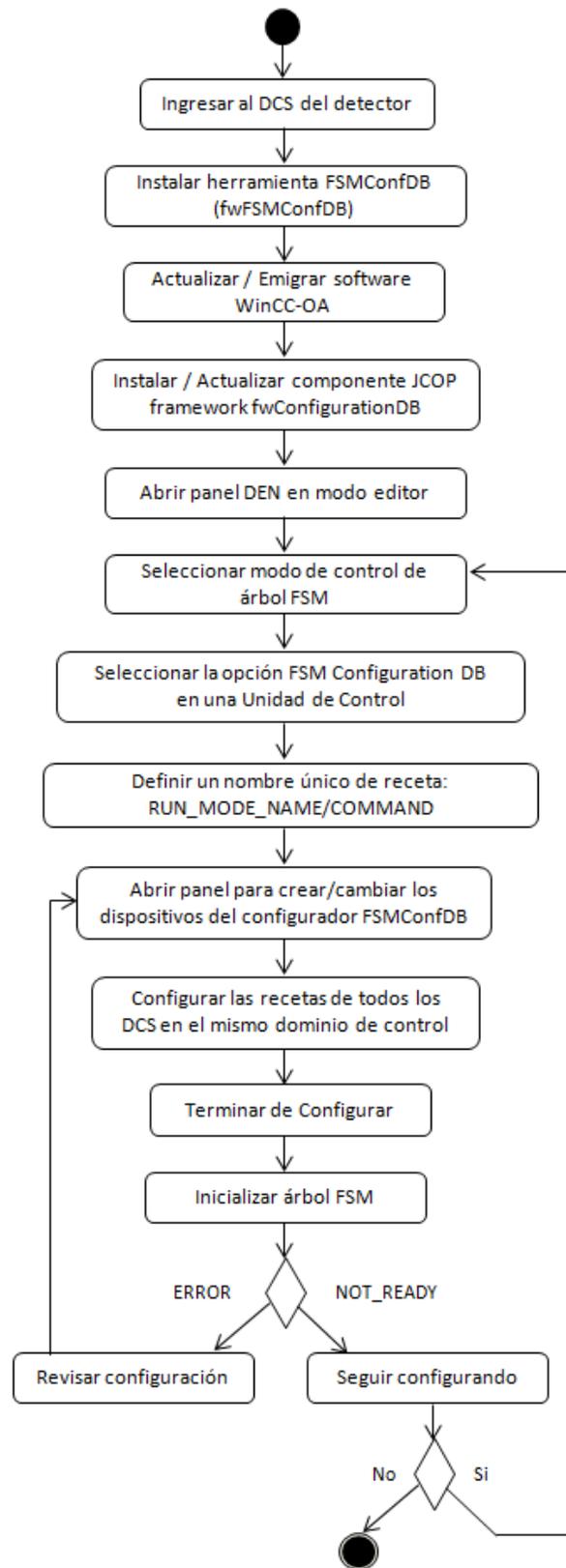


Figura B.12. Diagrama de Actividades – 8. Configuración de parámetros para diferentes tipos de corridas (ED)

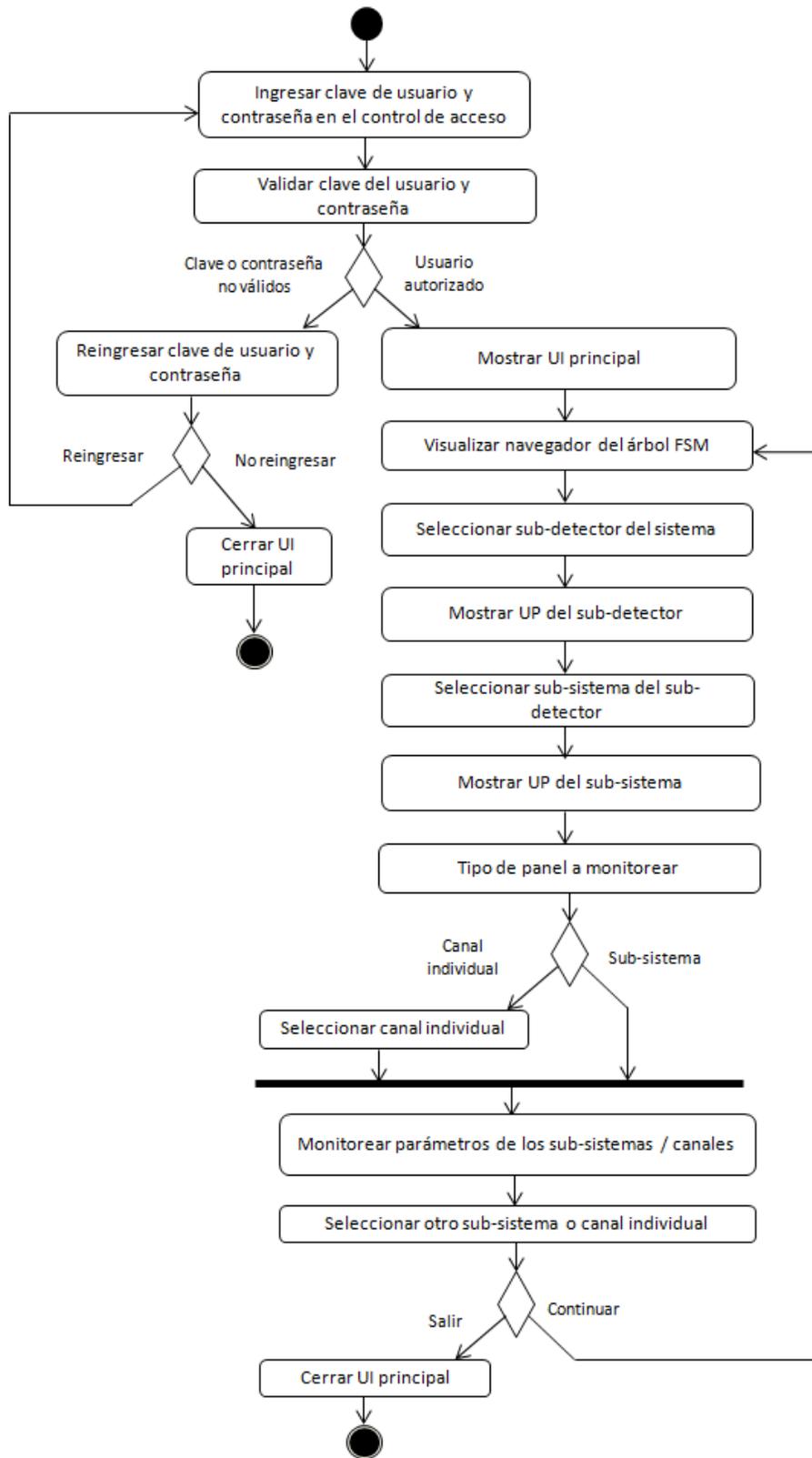


Figura B.13. Diagrama de Actividades – 9. Operación y monitoreo del subsistema de potencia del detector. a) monitoreo de parámetros (ED)

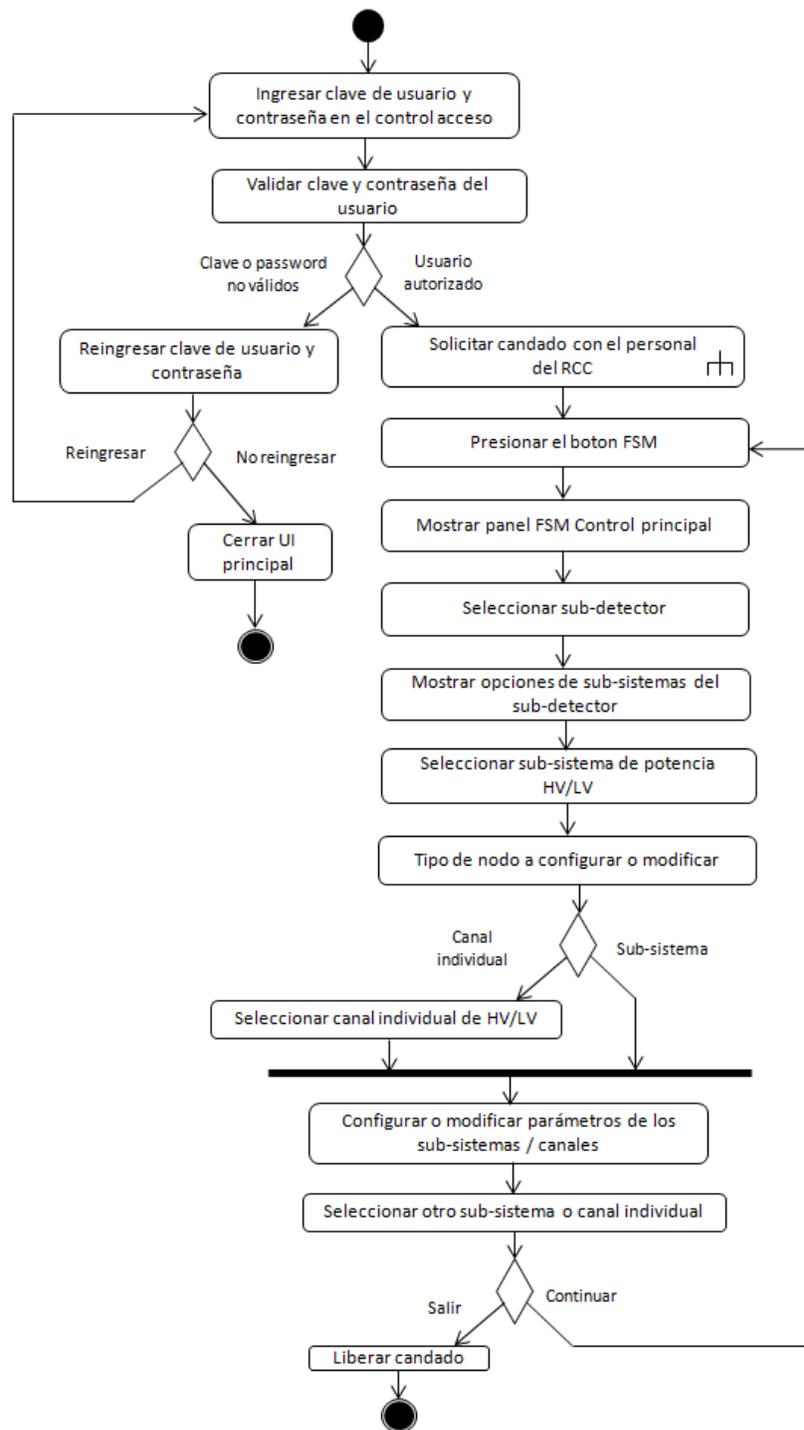


Figura B.14. Diagrama de Actividades – 9. Operación y monitoreo del subsistema de potencia del detector. b) control y configuración de parámetros (ED)

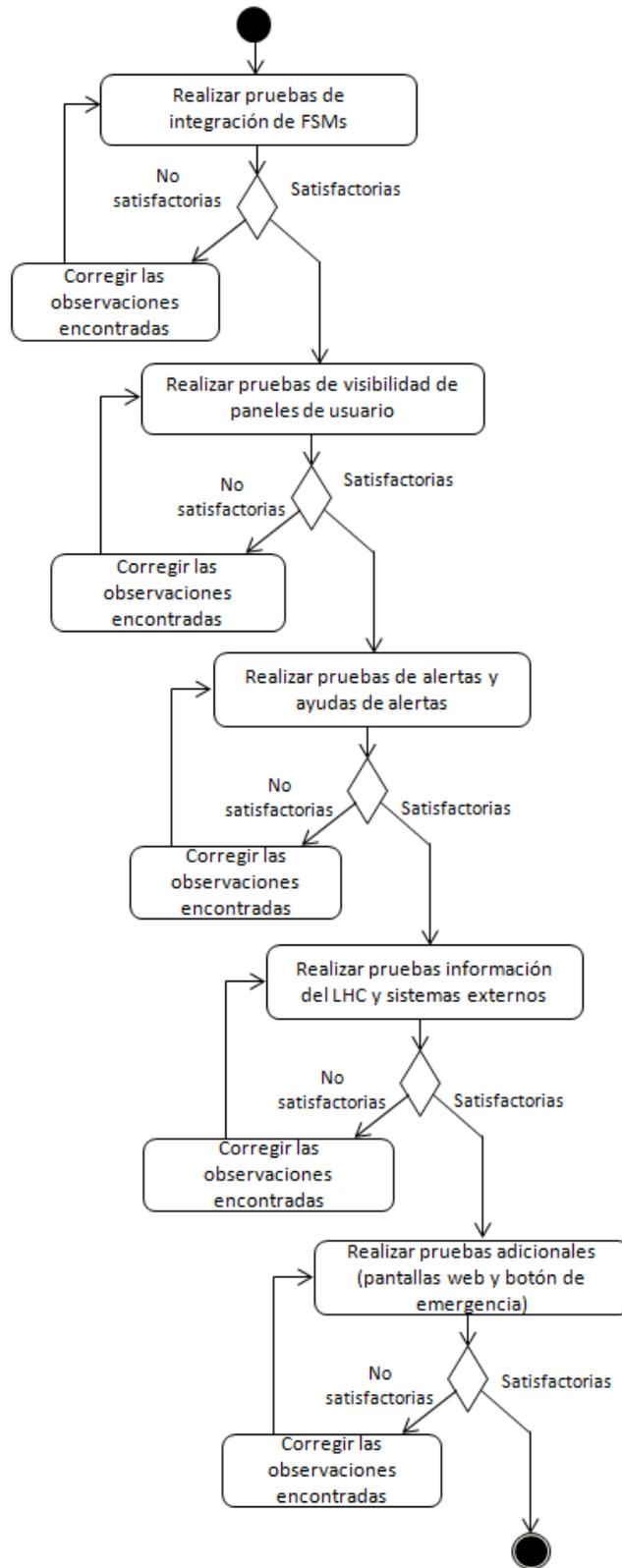


Figura B.15. Diagrama de Actividades – 10. Integración al DCS central de ALICE (ED)

## B.2 Diagramas de Actividades UML para el Experto en el DCS Central de ALICE

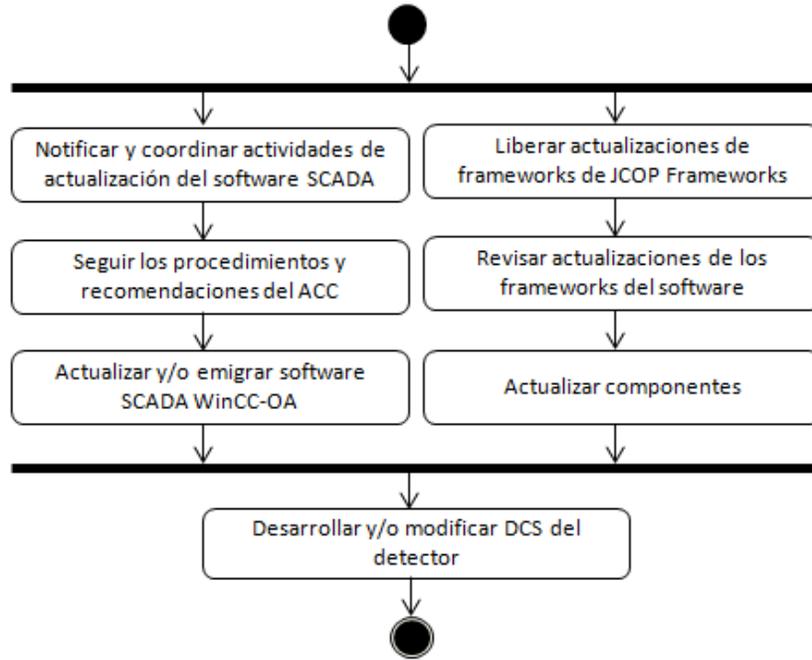


Figura B.16. Diagrama de Actividades – 1. Uso y aplicación del software SCADA y framework actualizados (EDCSC)

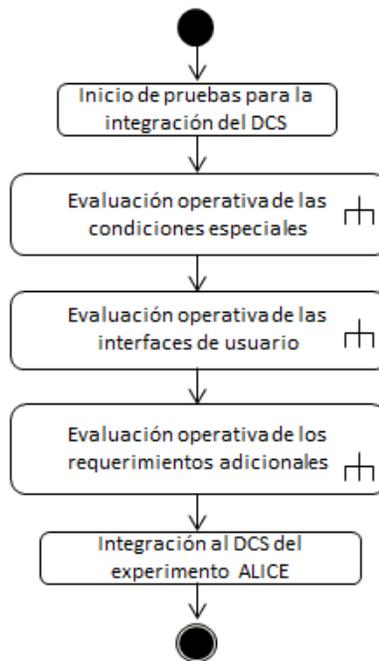


Figura B.17. Diagrama de Actividades – Revisión de las pruebas de integración del DCS en ALICE (EDCSC)

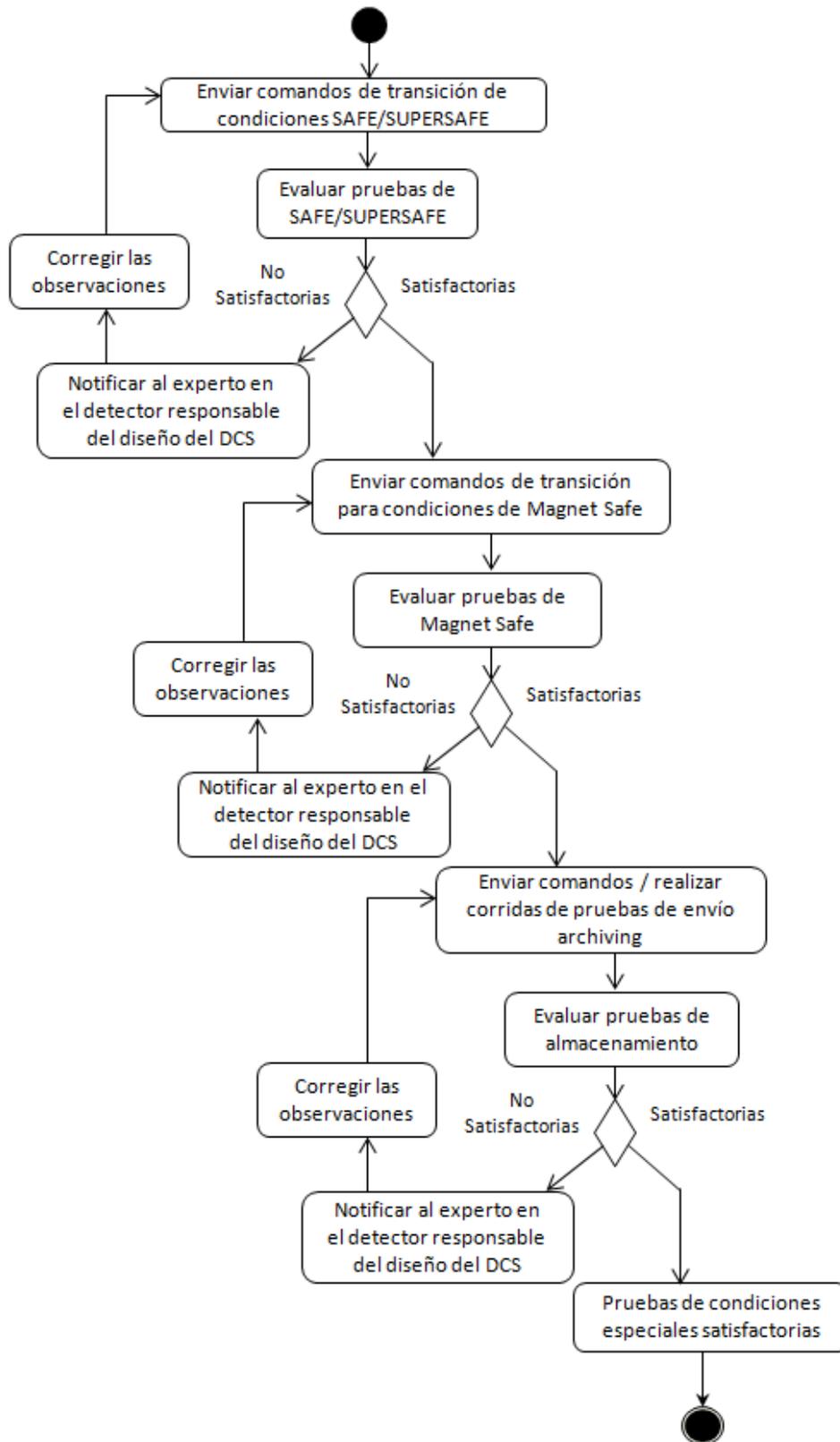


Figura B.18. Diagrama de Actividades – 2. Evaluación operativa de las condiciones especiales (EDCSC)

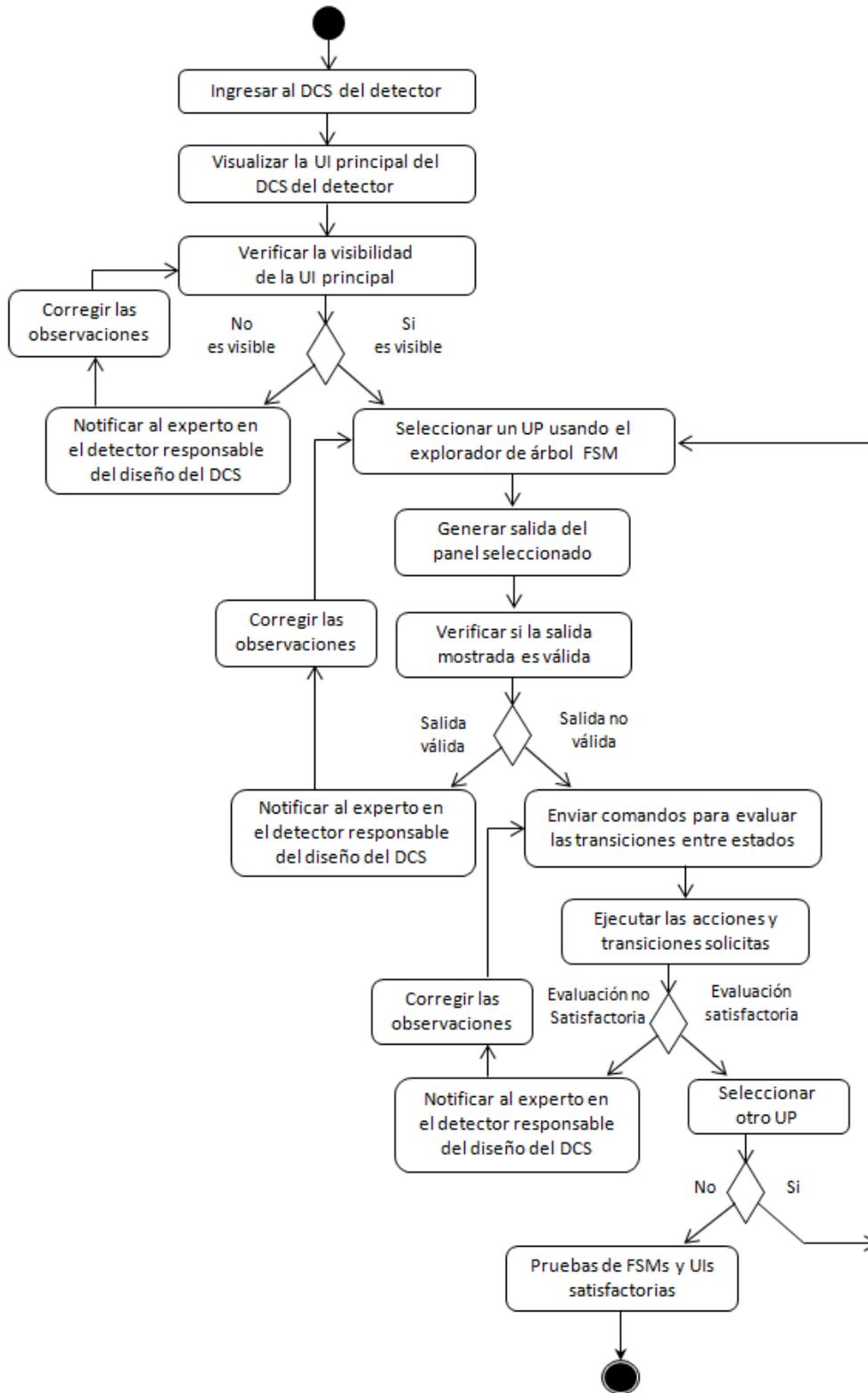


Figura B.19. Diagrama de Actividades – 3. Evaluación operativa de las interfaces de usuario (EDCSC)

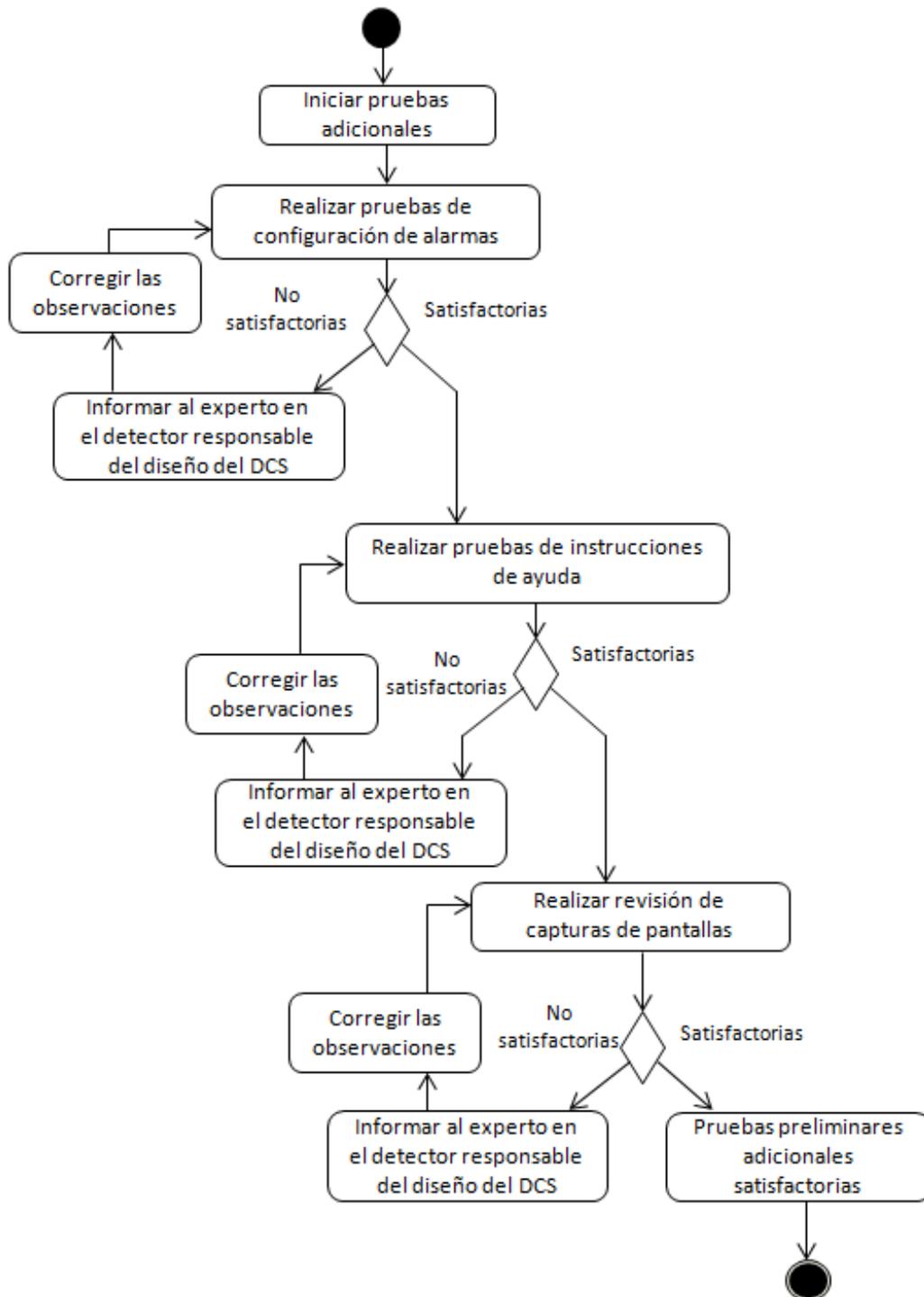


Figura B.20. Diagrama de Actividades – 4. Evaluación operativa de los requerimientos adicionales (EDCSC)

### B.3 Diagramas de Actividades UML para el Operador en el DCS Central de ALICE

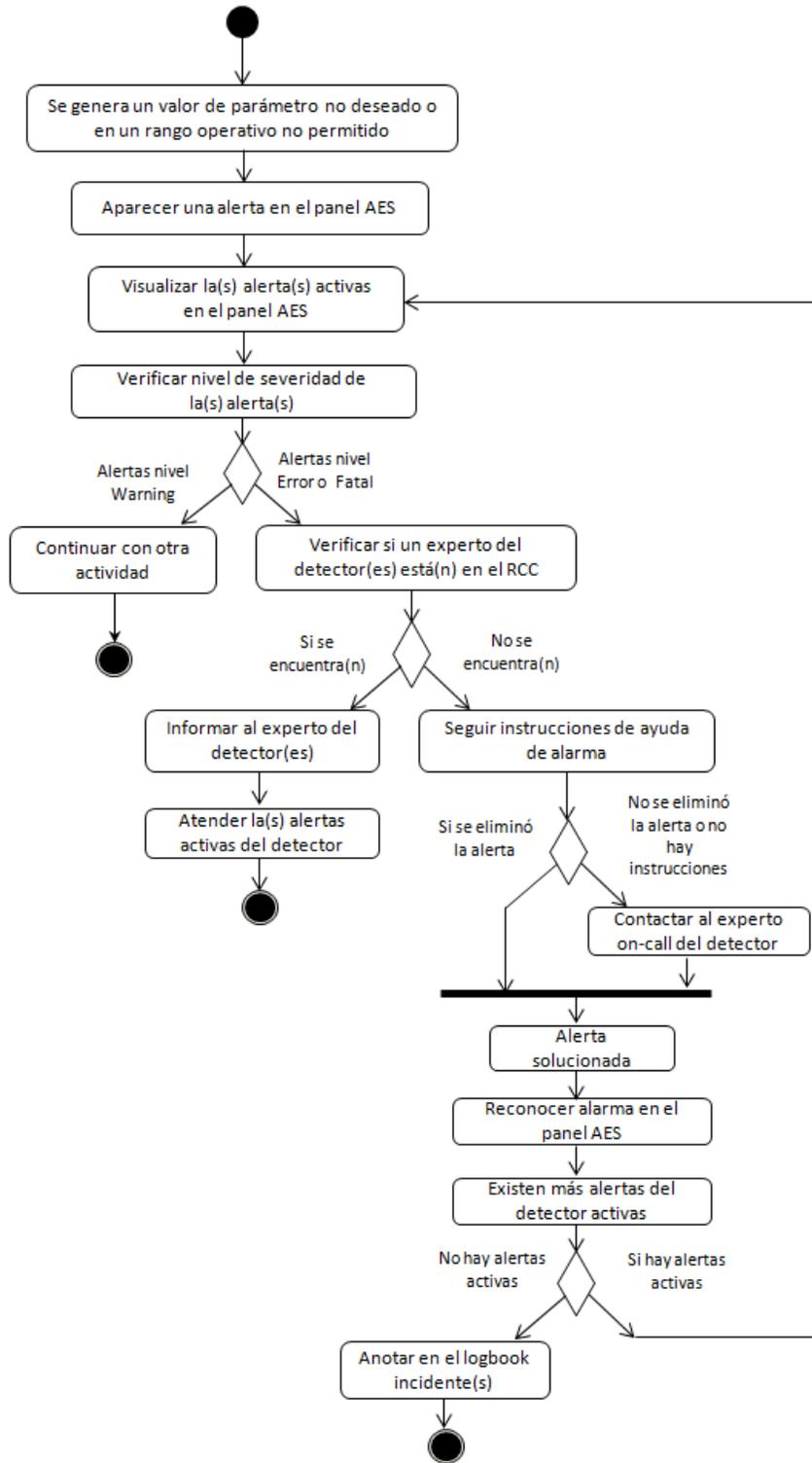


Figura B.21. Diagrama de Actividades – 1. Visualización de alarmas e instrucciones de ayuda de alarmas (ODCSC)

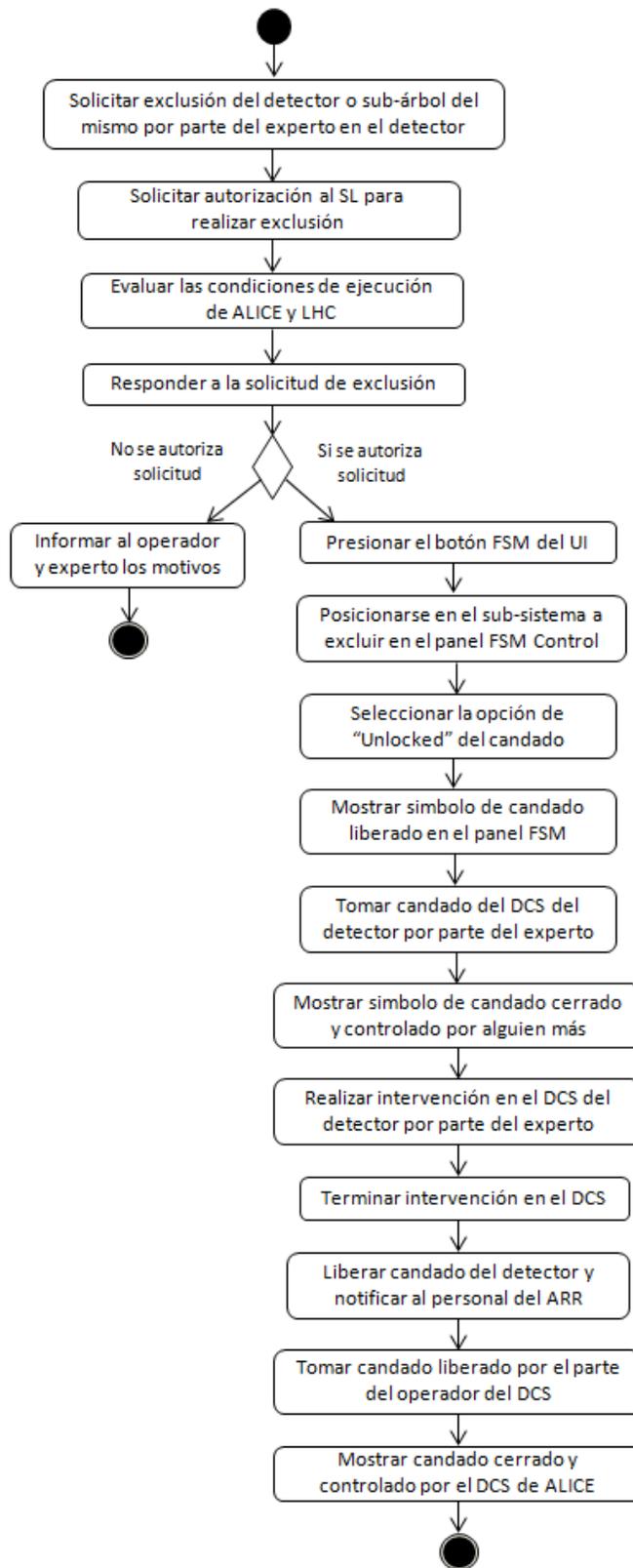


Figura B.22. Diagrama de Actividades – 2. Operación de FSMs ODCSC)

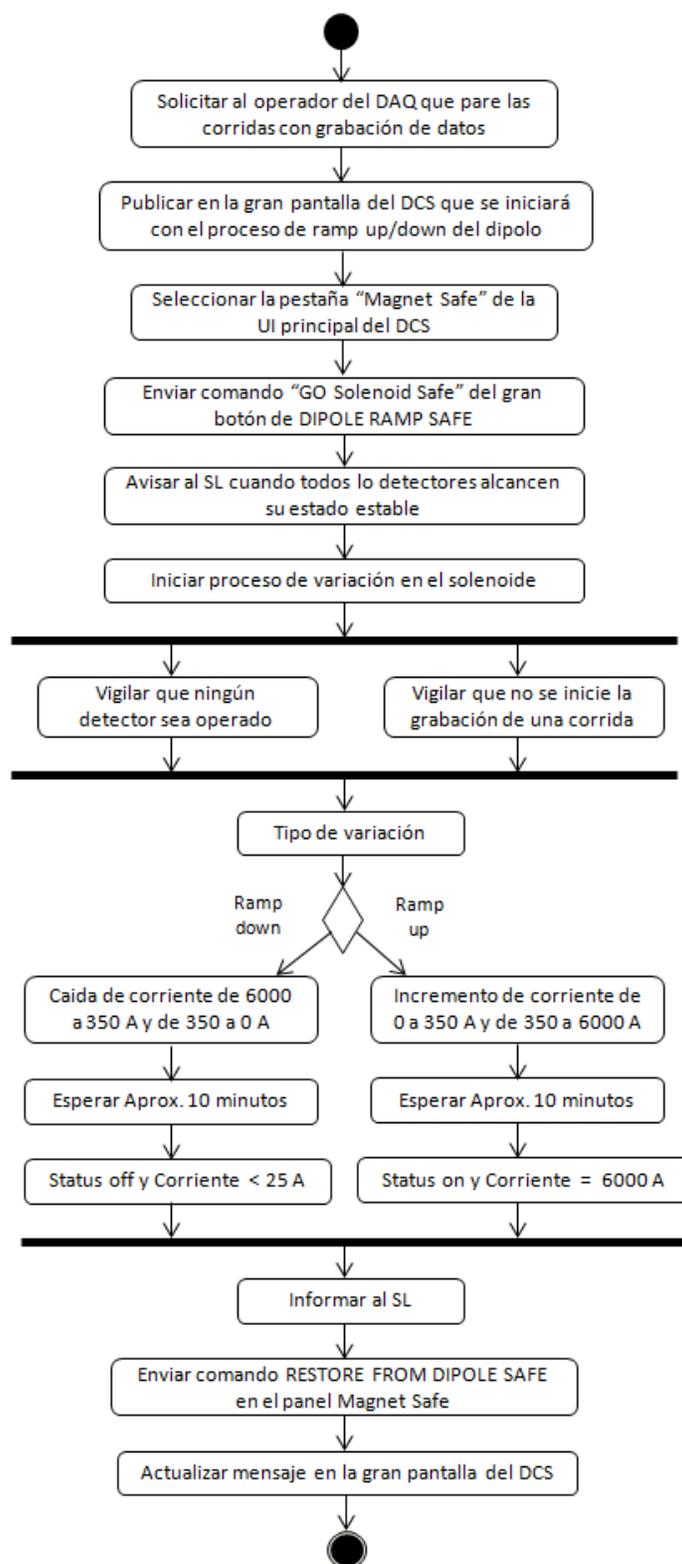


Figura B.23. Diagrama de Actividades – 3. Definición del estado del detector para condiciones especiales. a) Proceso de ramp up/down del dipolo - variación planeada (ODCSC)

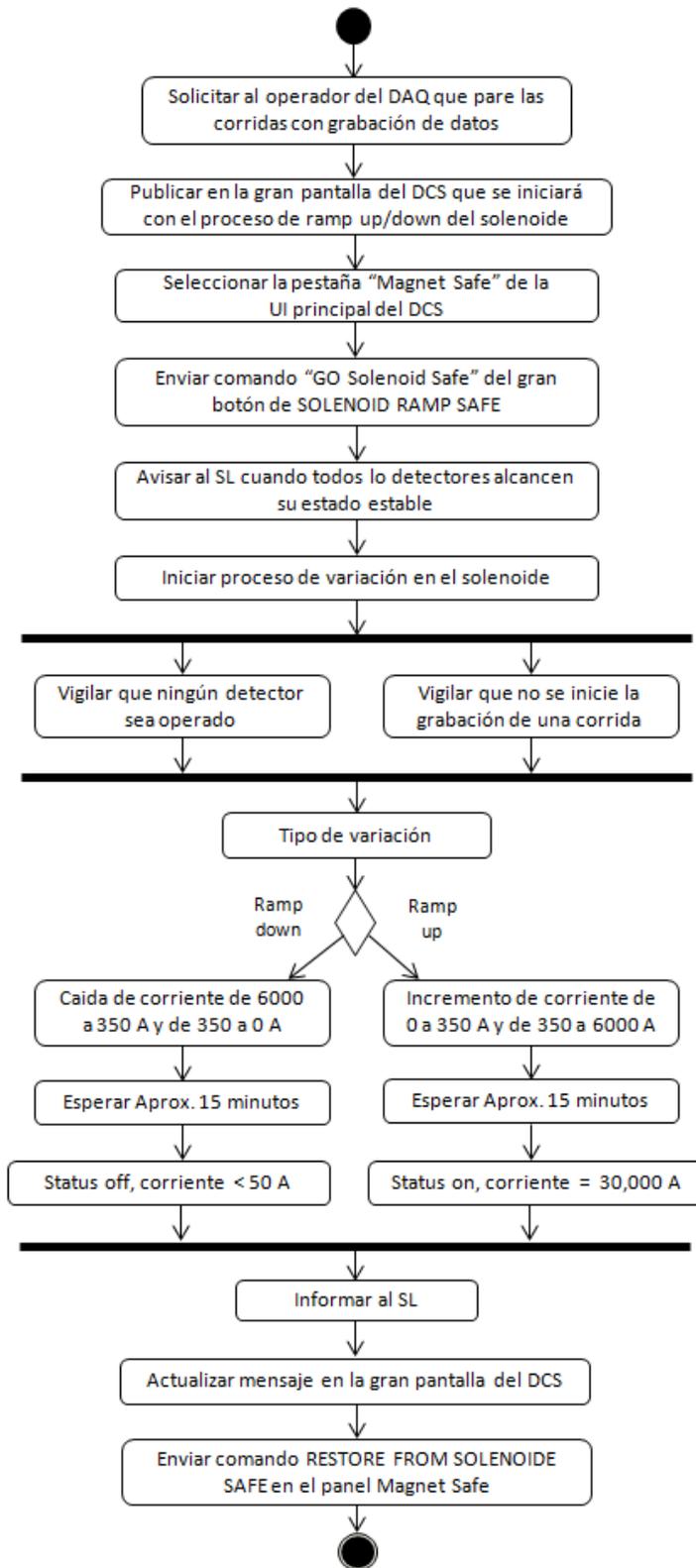


Figura B.24. Diagrama de Actividades – 3. Definición del estado del detector para condiciones especiales. b) Proceso de ramp up/down del solenoide - variación planeada (ODCSC)

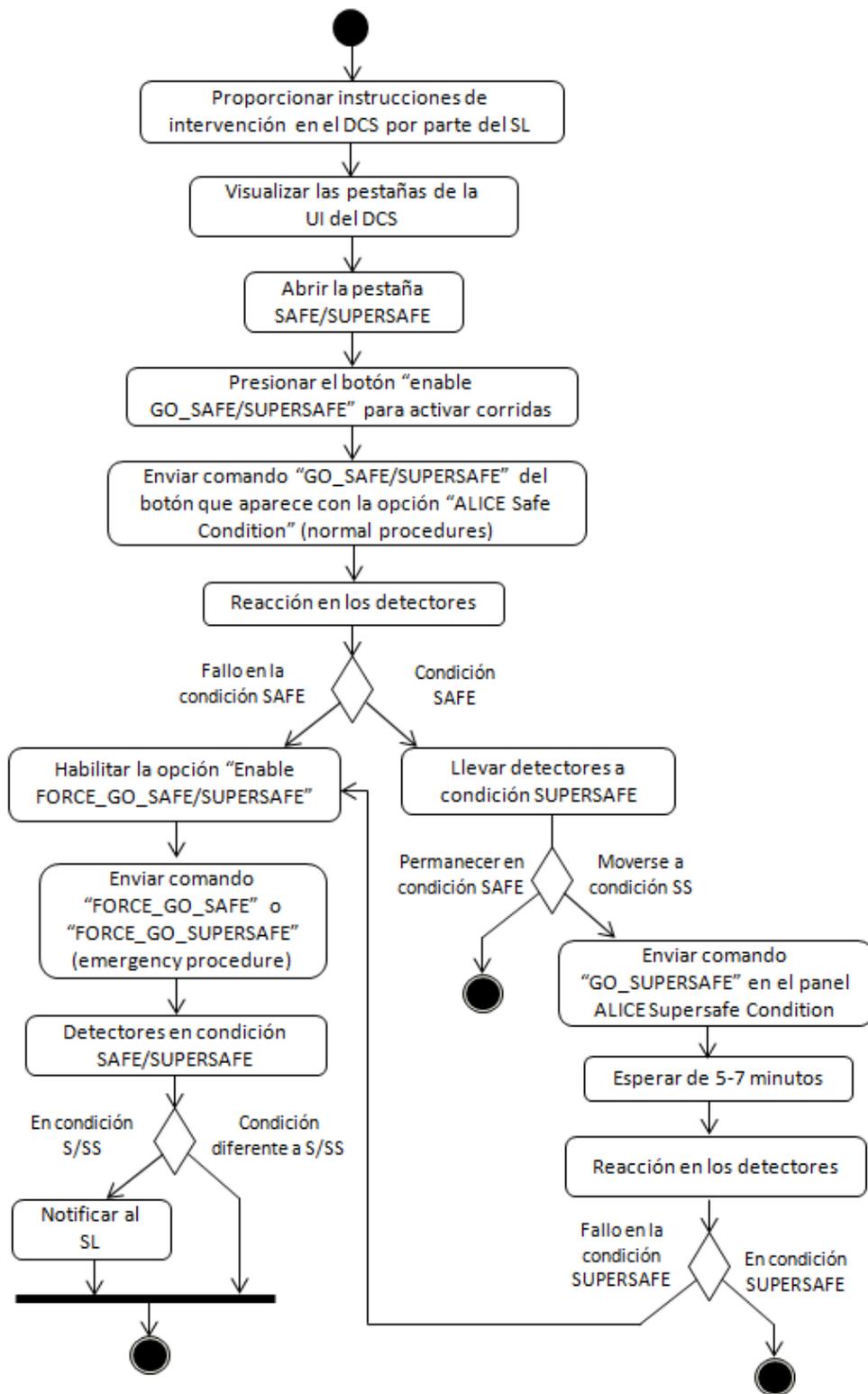


Figura B.25. Diagrama de Actividades – 3. Definición del estado del detector para condiciones especiales. c) Forma estándar para llevar uno o más detectores a las condiciones SAFE/SUPERSAFE (ODCSC)

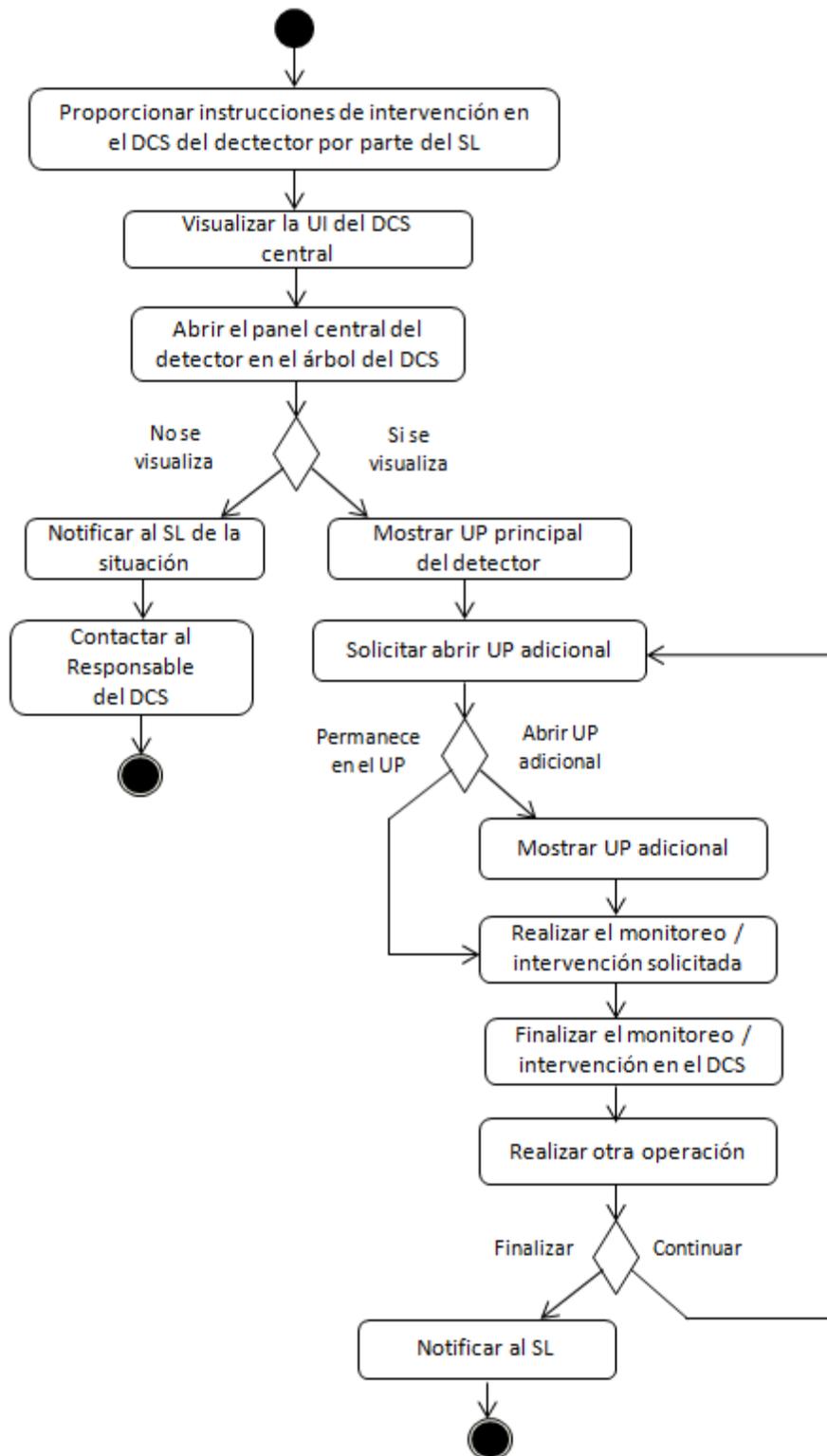


Figura B.26. Diagrama de Actividades – 4. Monitoreo de las interfaces de usuario del detector (ODCSC)

## C. Diagramas de Secuencia UML de los Interesados

### C.1 Diagramas de Secuencia UML para el Experto en el Detector

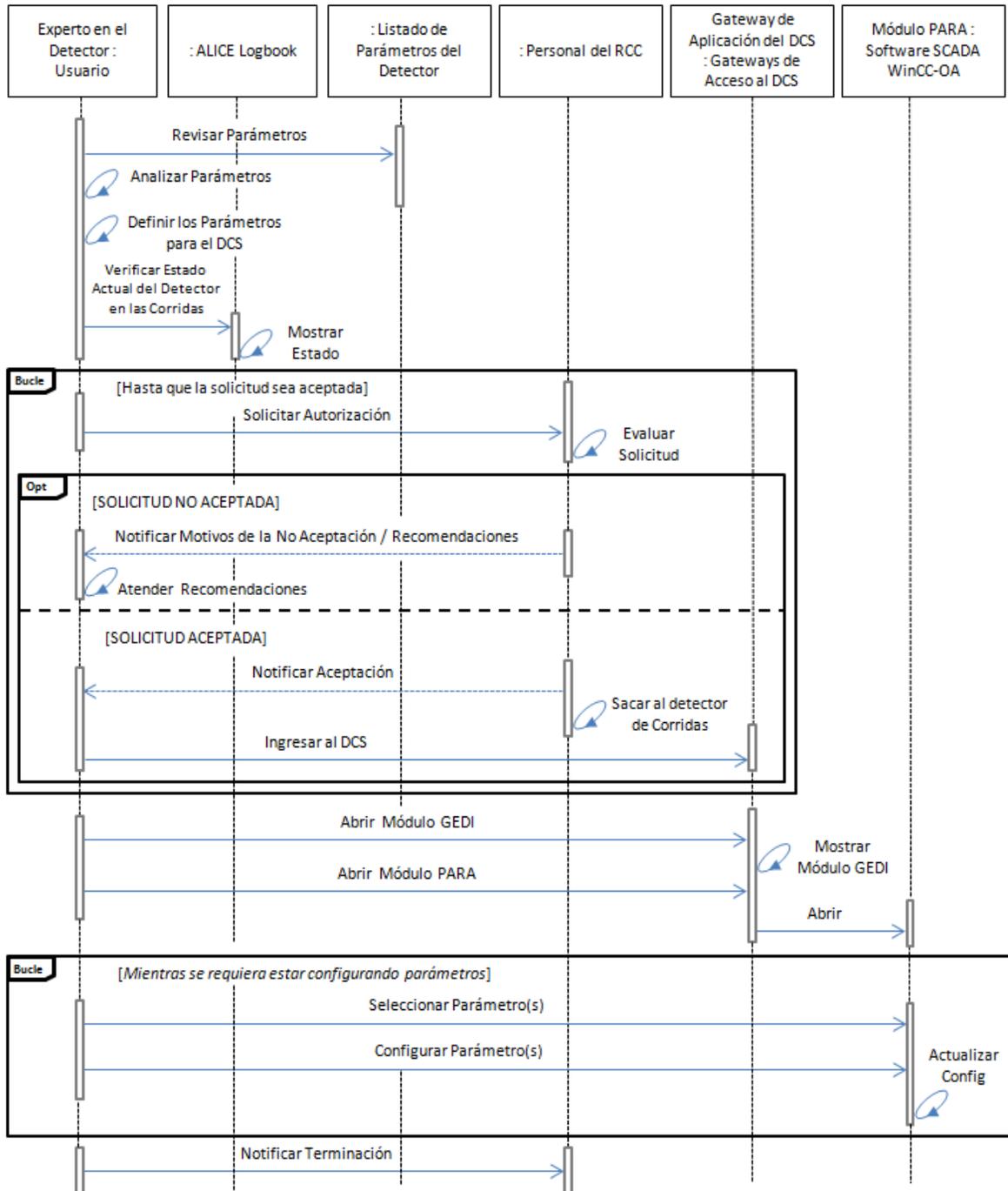


Figura C1. Diagrama de Secuencia – 1. Almacenamiento de los parámetros que determinan las condiciones de operación. a) Selección y definición de los parámetros del archiving en el DCS (ED)

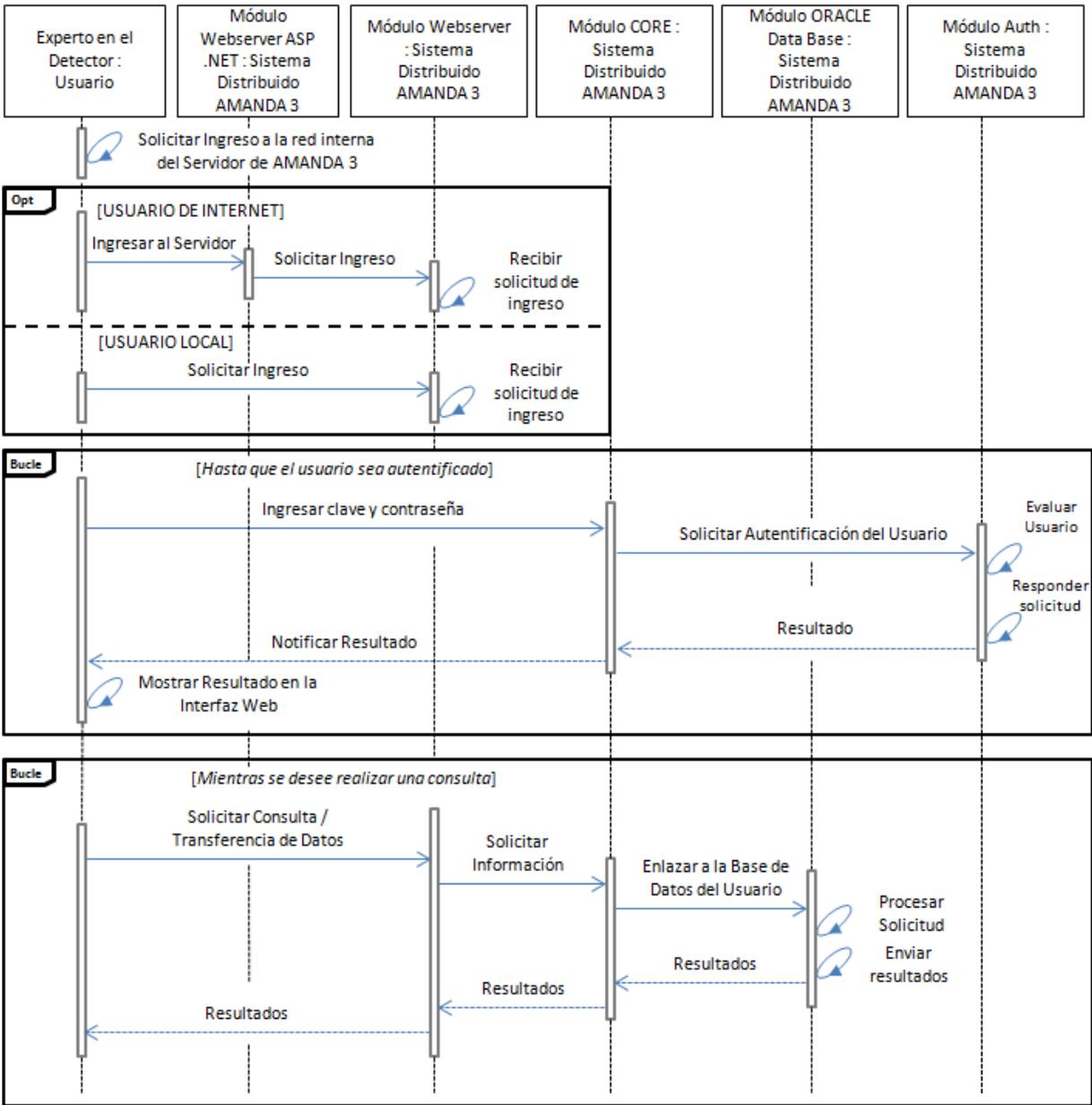


Figura C2. Diagrama de Secuencia – 1. Almacenamiento de los parámetros que determinan las condiciones de operación. b) Consulta / transferencia de datos entre archives del DCS y clientes fuera de línea (ED)

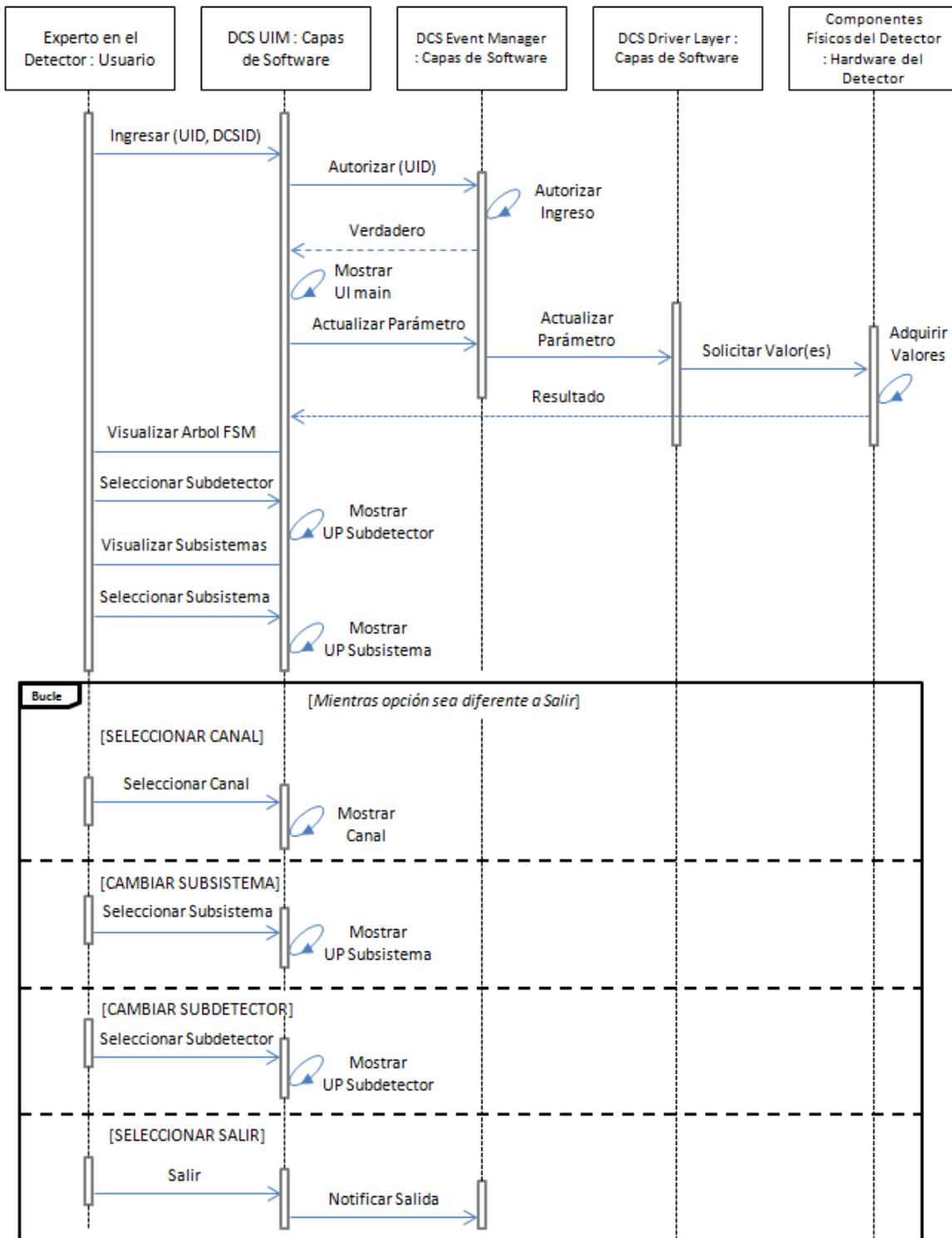


Figura C3. Diagrama de Secuencia – 2. Interacción mediante el uso de interfaces de usuario. a) Monitoreo de subsistemas/canales (ED)

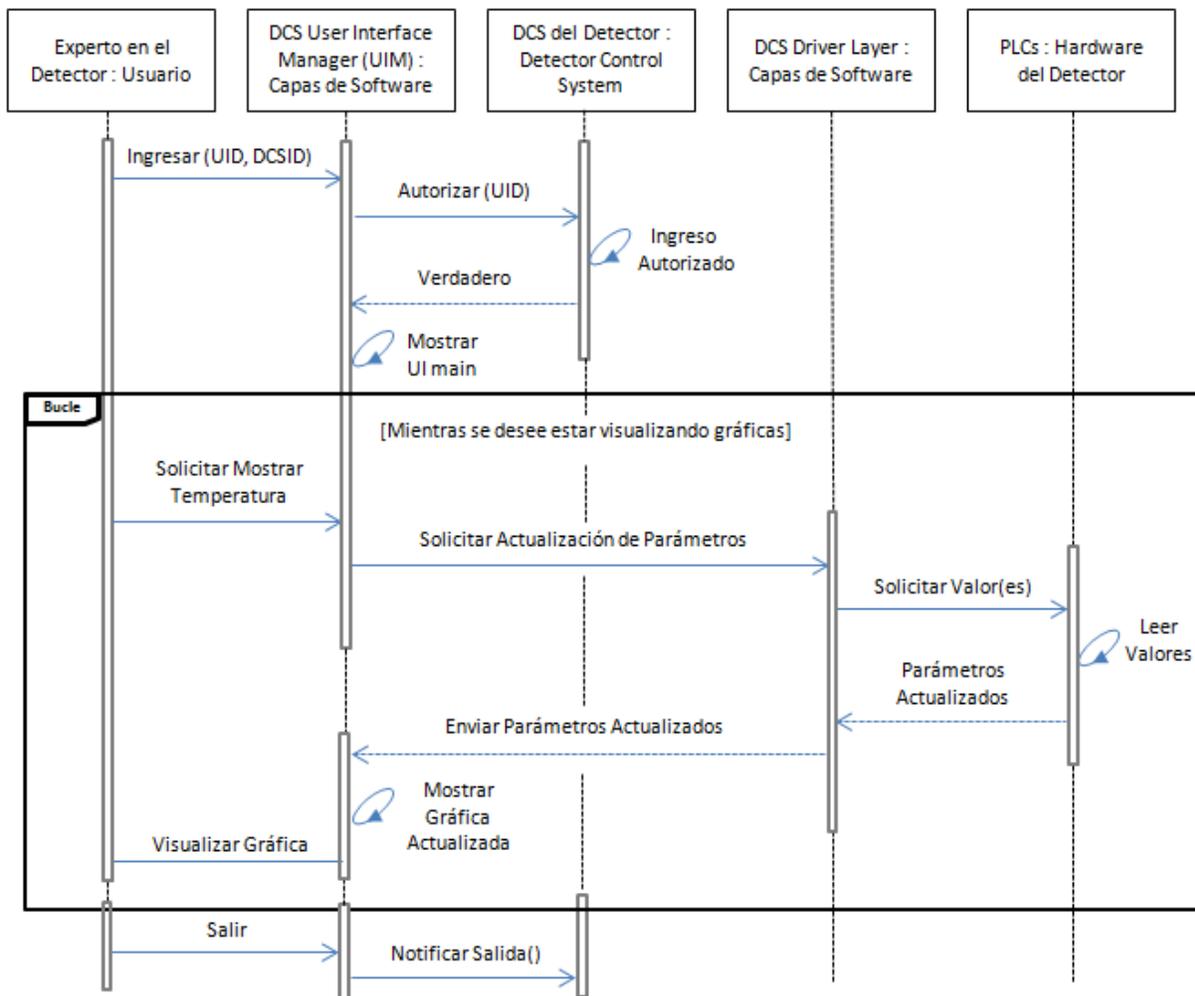


Figura C4. Diagrama de Secuencia – 2. Interacción mediante el uso de interfaces de usuario. b) Ejemplo de panel para visualización y monitoreo de temperatura (ED)

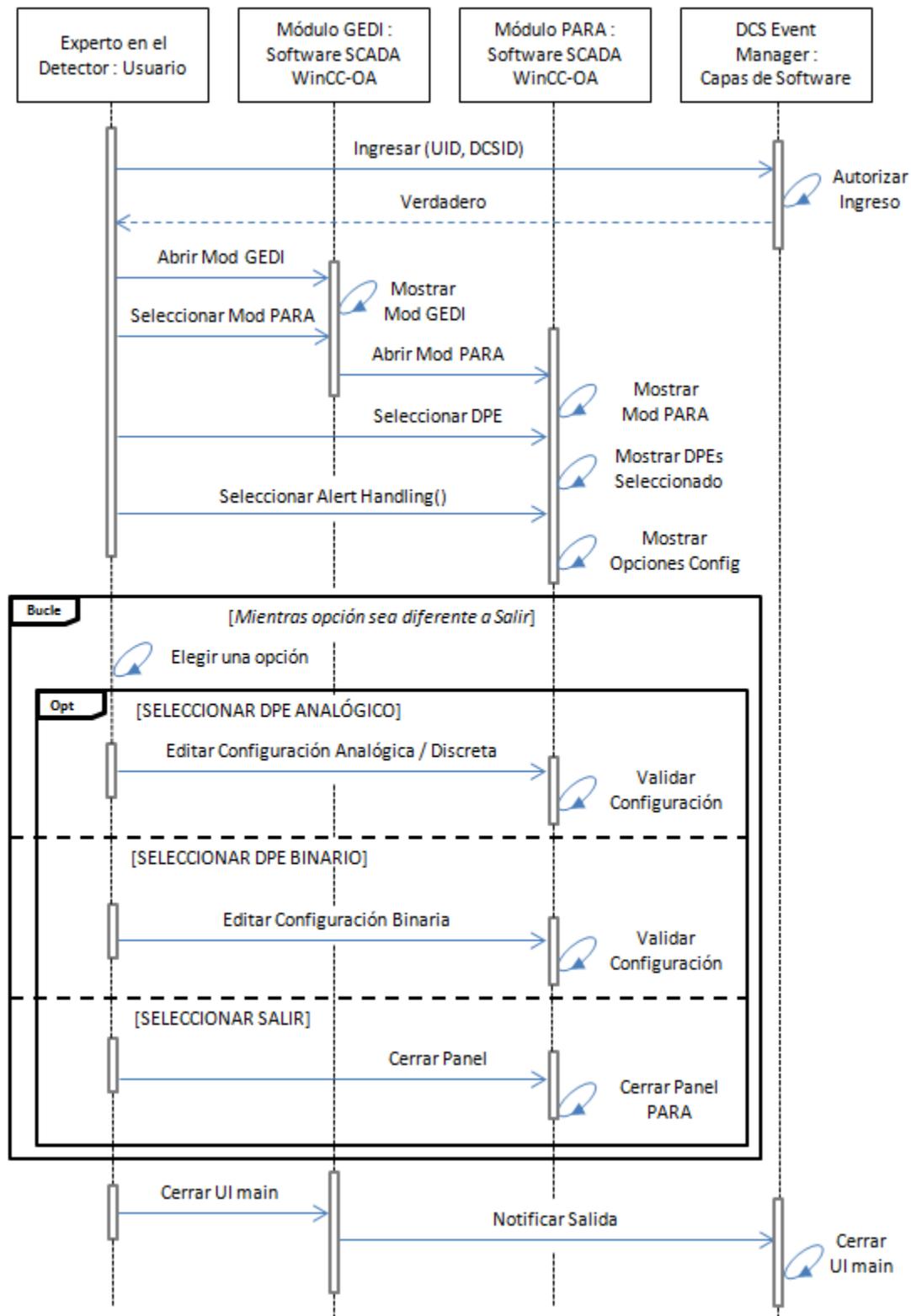


Figura C5. Diagrama de Secuencia – 3. Configuración de alarmas de seguridad (ED)

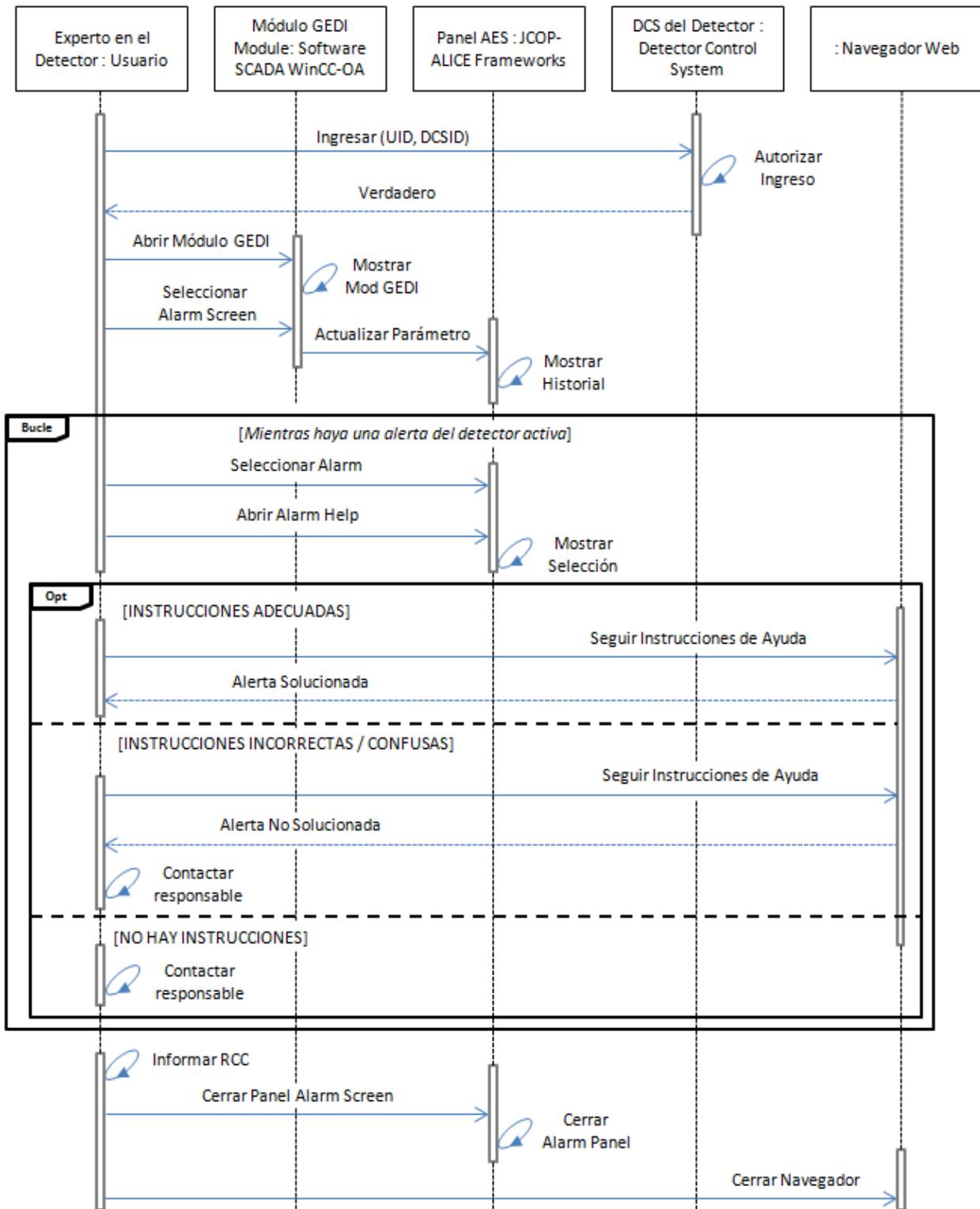


Figura C6. Diagrama de Secuencia – 4. Configuración de instrucciones de ayuda de alarmas (ED)

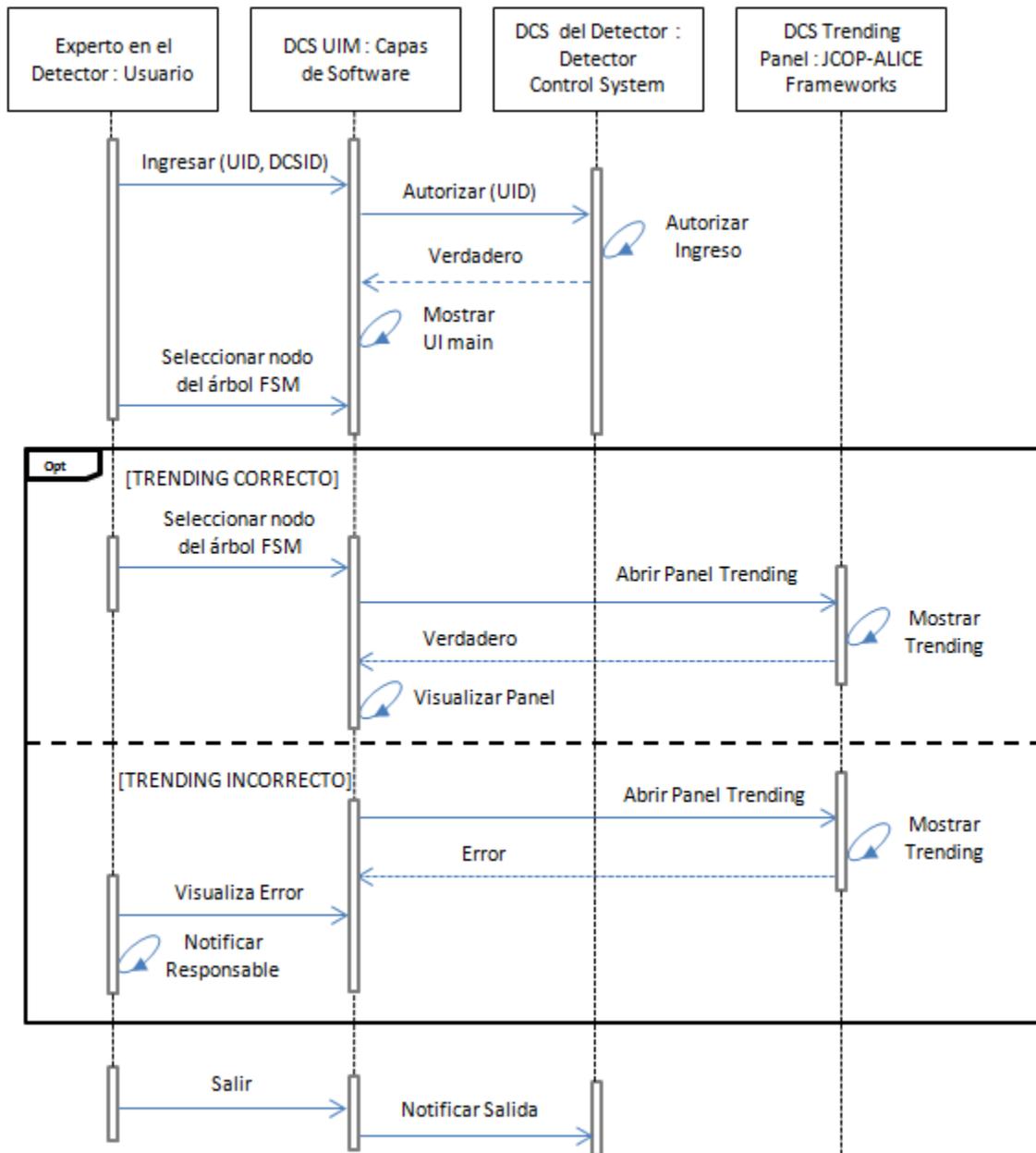


Figura C7. Diagrama de Secuencia – 5. Graficación del comportamiento de parámetros importantes (ED)

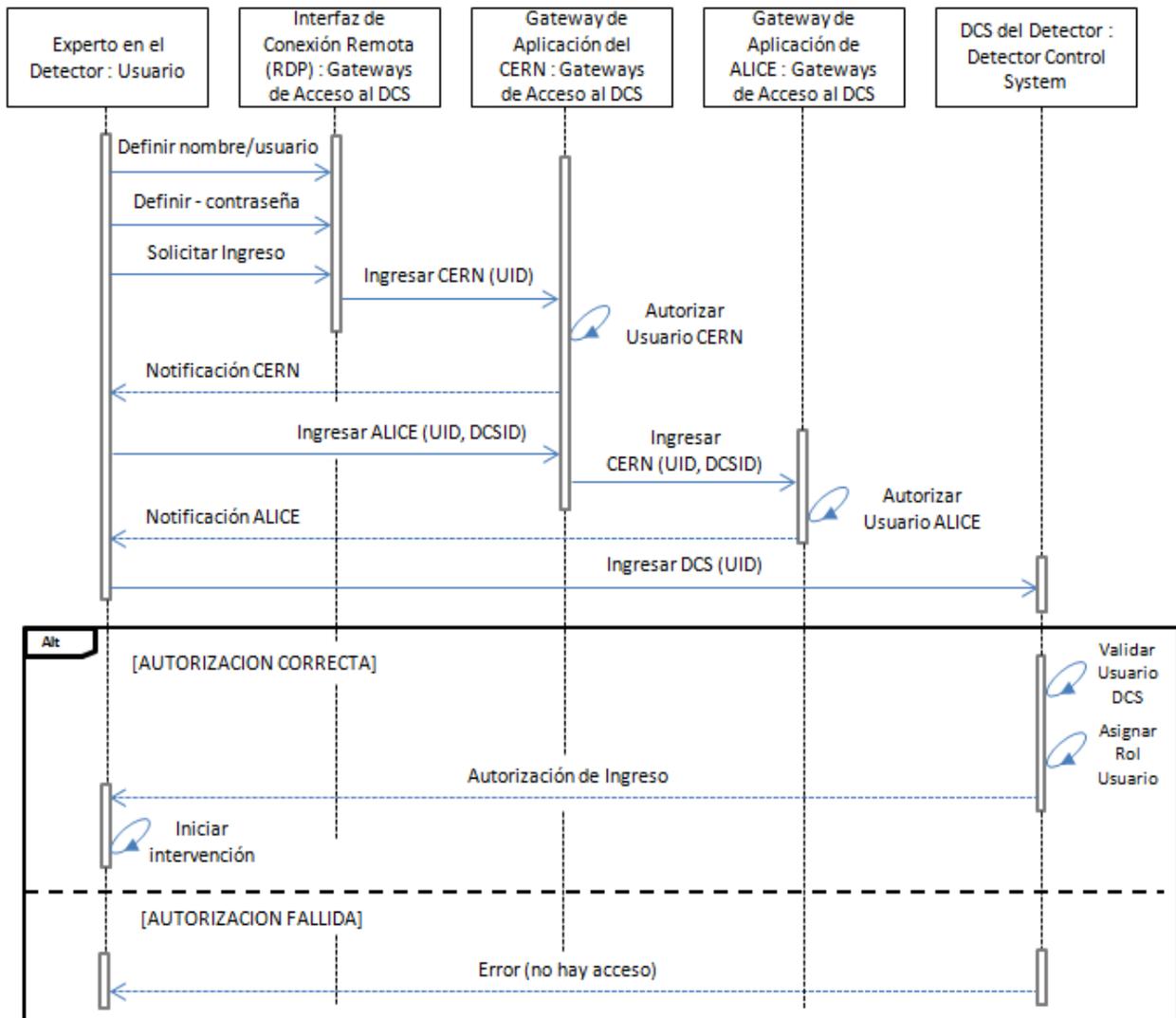


Figura C8. Diagrama de Secuencia – 6. Acceso restringido basado en roles (ED)

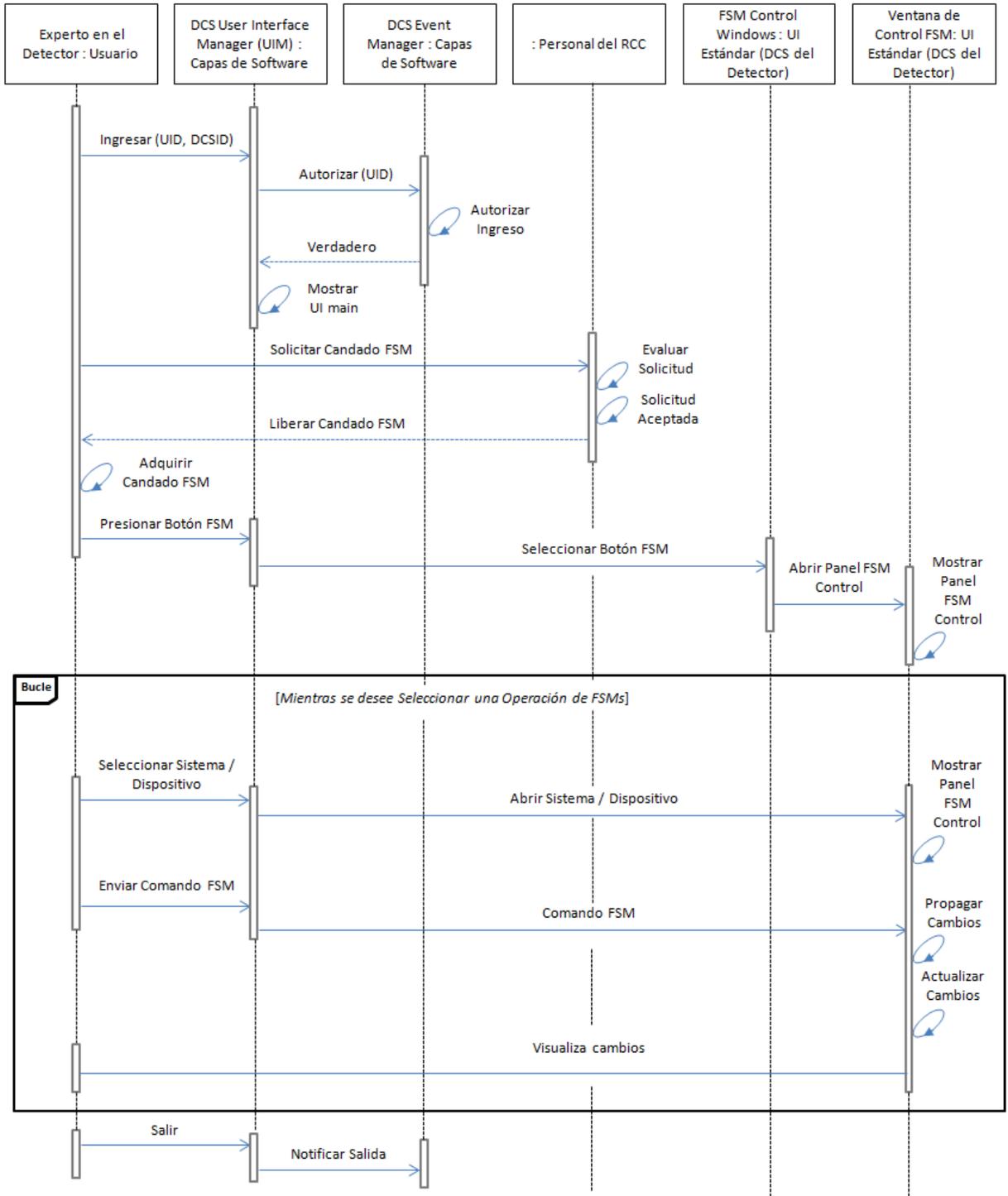


Figura C9. Diagrama de Secuencia – 7. Modelado mediante FSMs. a) Intervención aplicando panel de control FSM (ED)

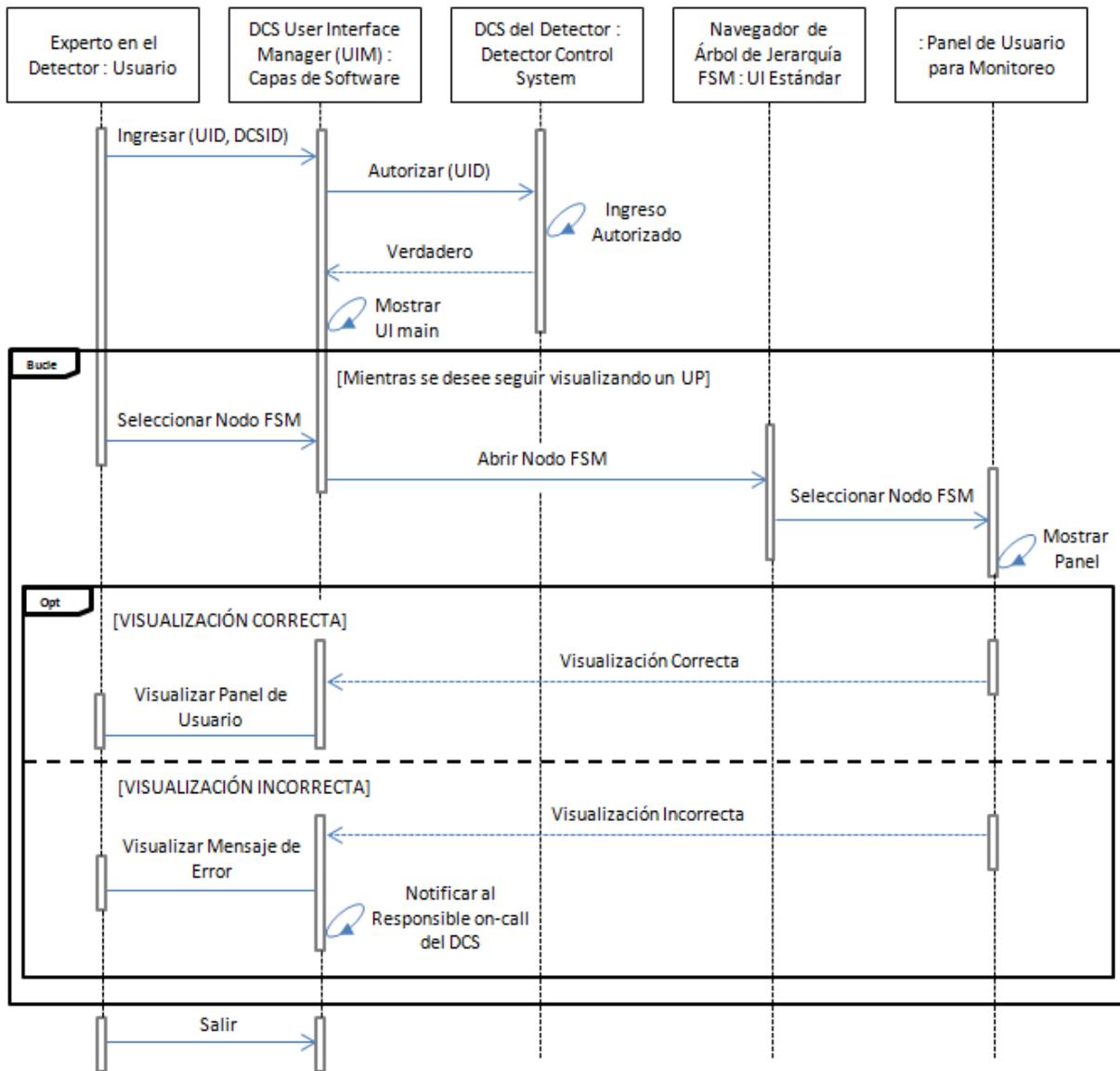


Figura C10. Diagrama de Secuencia – 7. Modelado mediante FSMs. b) Visualización de panel aplicando control FSM (ED)

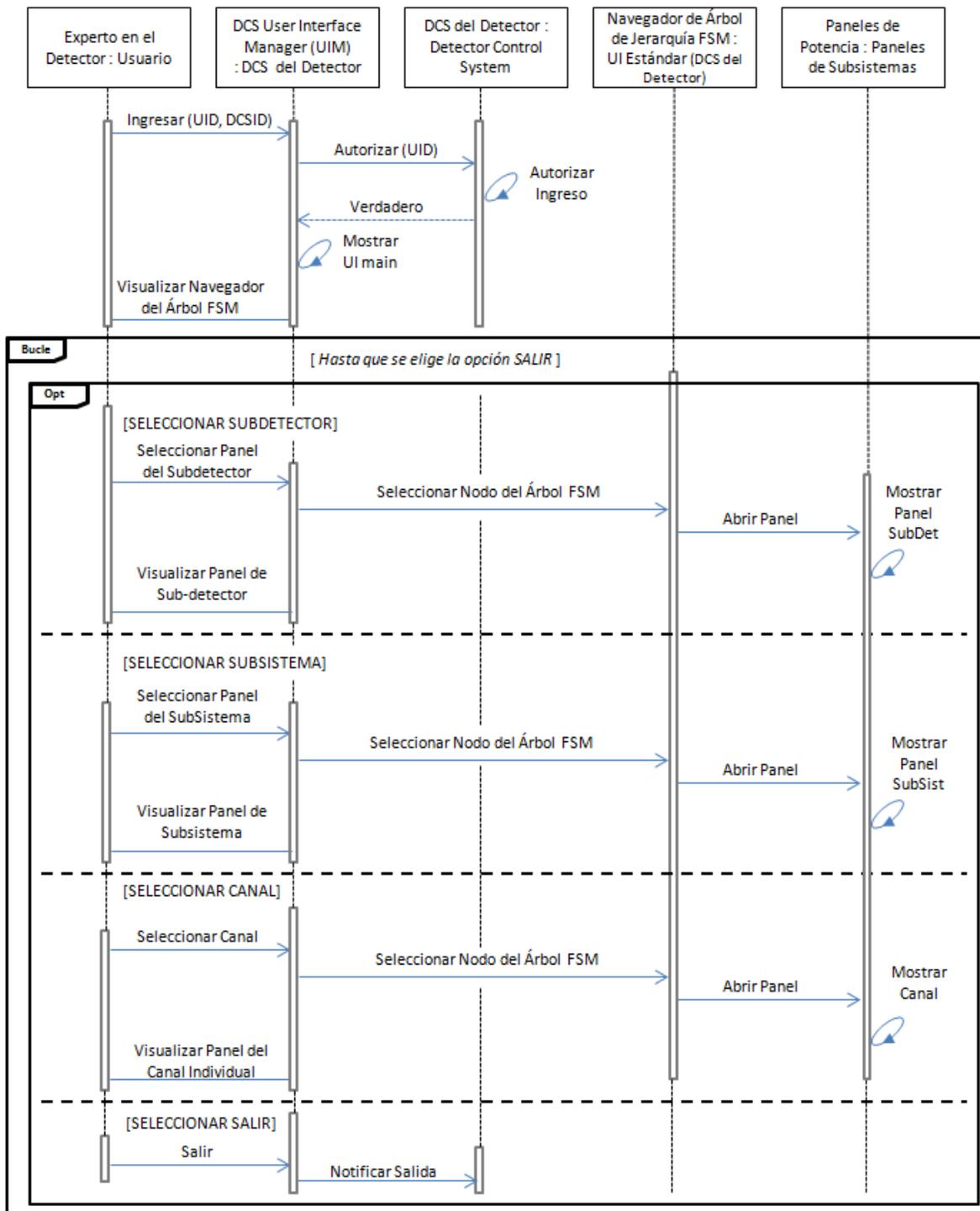


Figura C11. Diagrama de Secuencia – 9. Operación y monitoreo del subsistema de potencia del detector.  
a) Monitoreo de parámetros (ED)

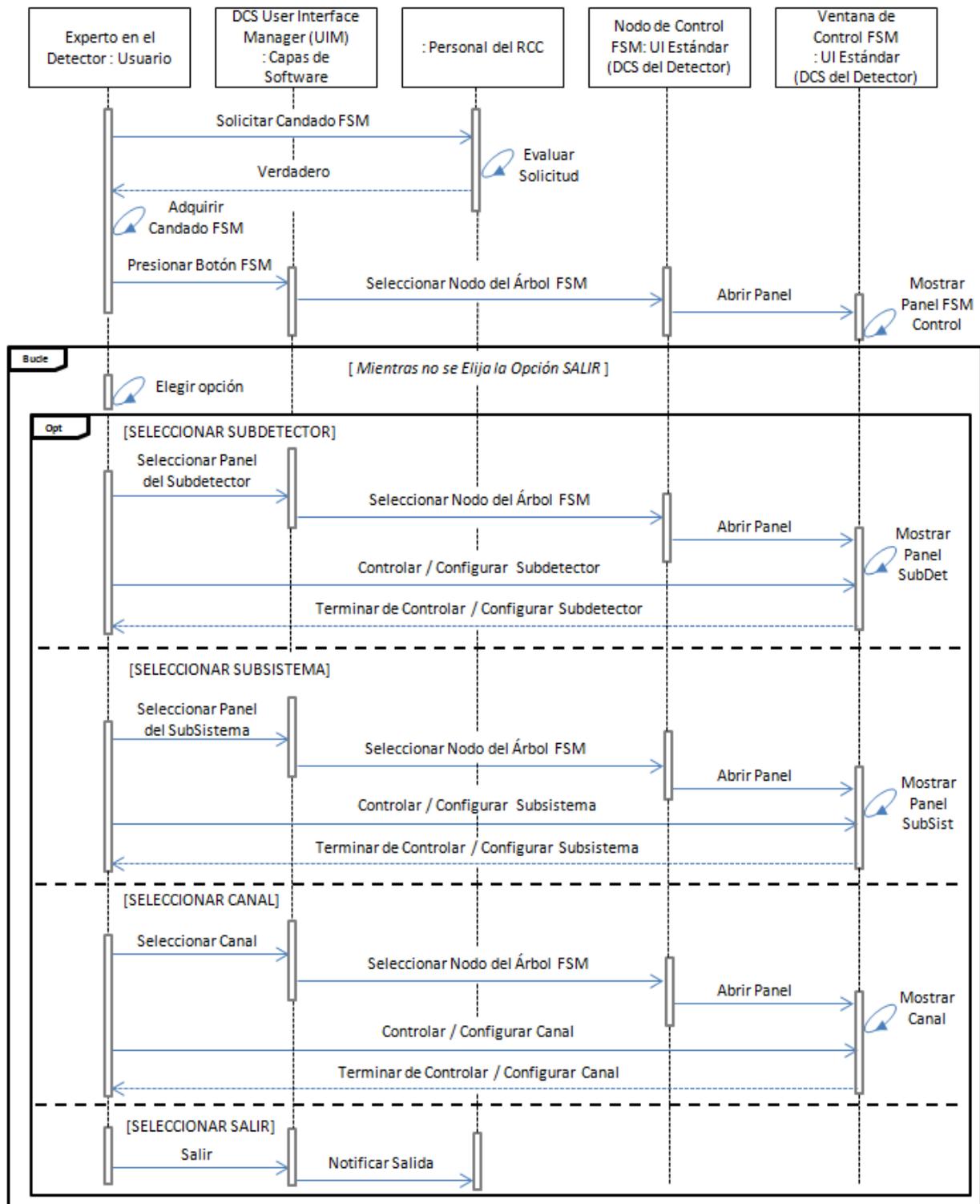


Figura C12. Diagrama de Secuencia – 9. Operación y monitoreo del subsistema de potencia del detector.  
 b) Control y configuración de parámetros (ED)

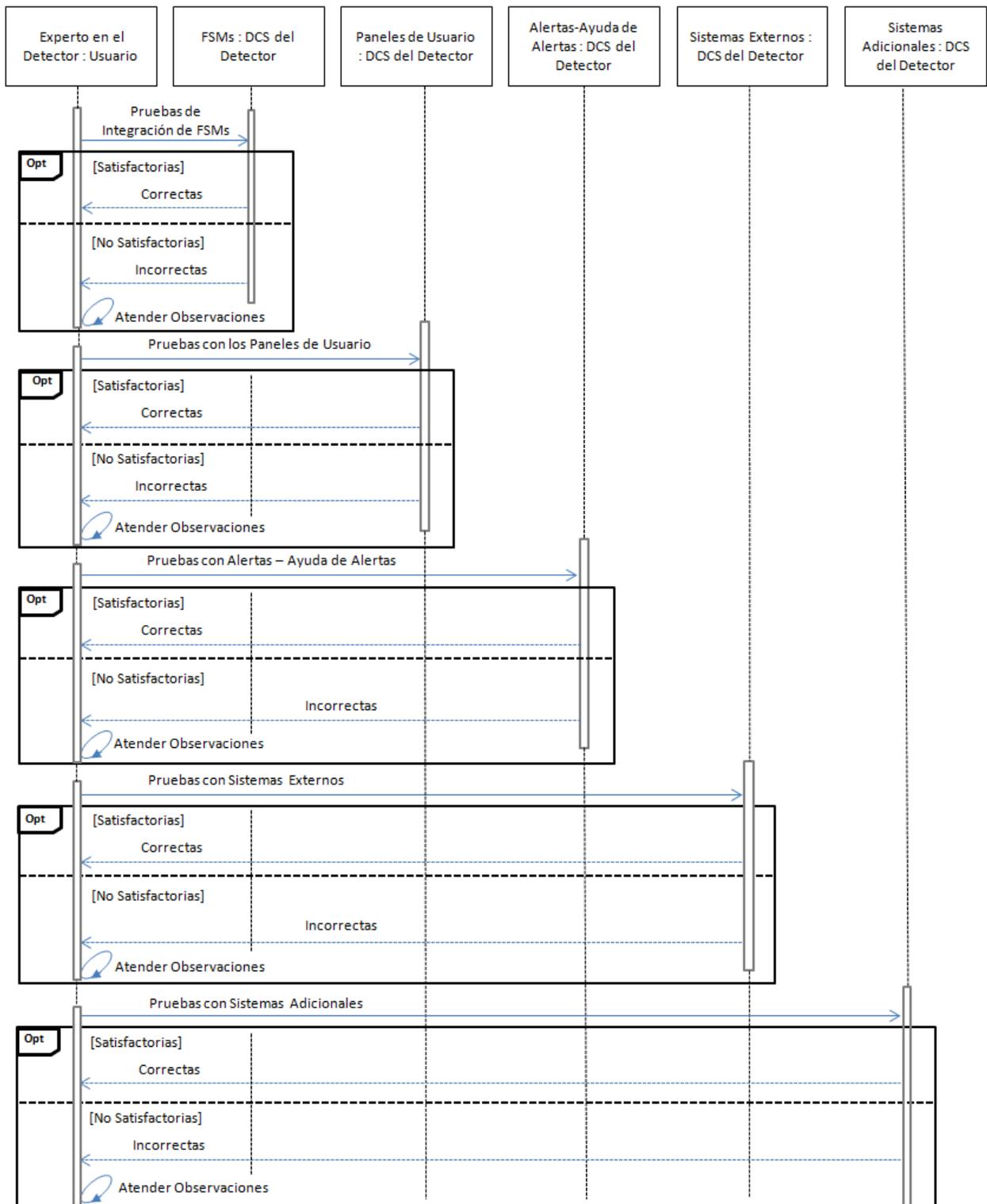


Figura C13. Diagrama de Secuencia – 10. Integración al DCS central de ALICE (ED)

## C.2 Diagramas de Secuencia UML para el Experto en el DCS Central de ALICE

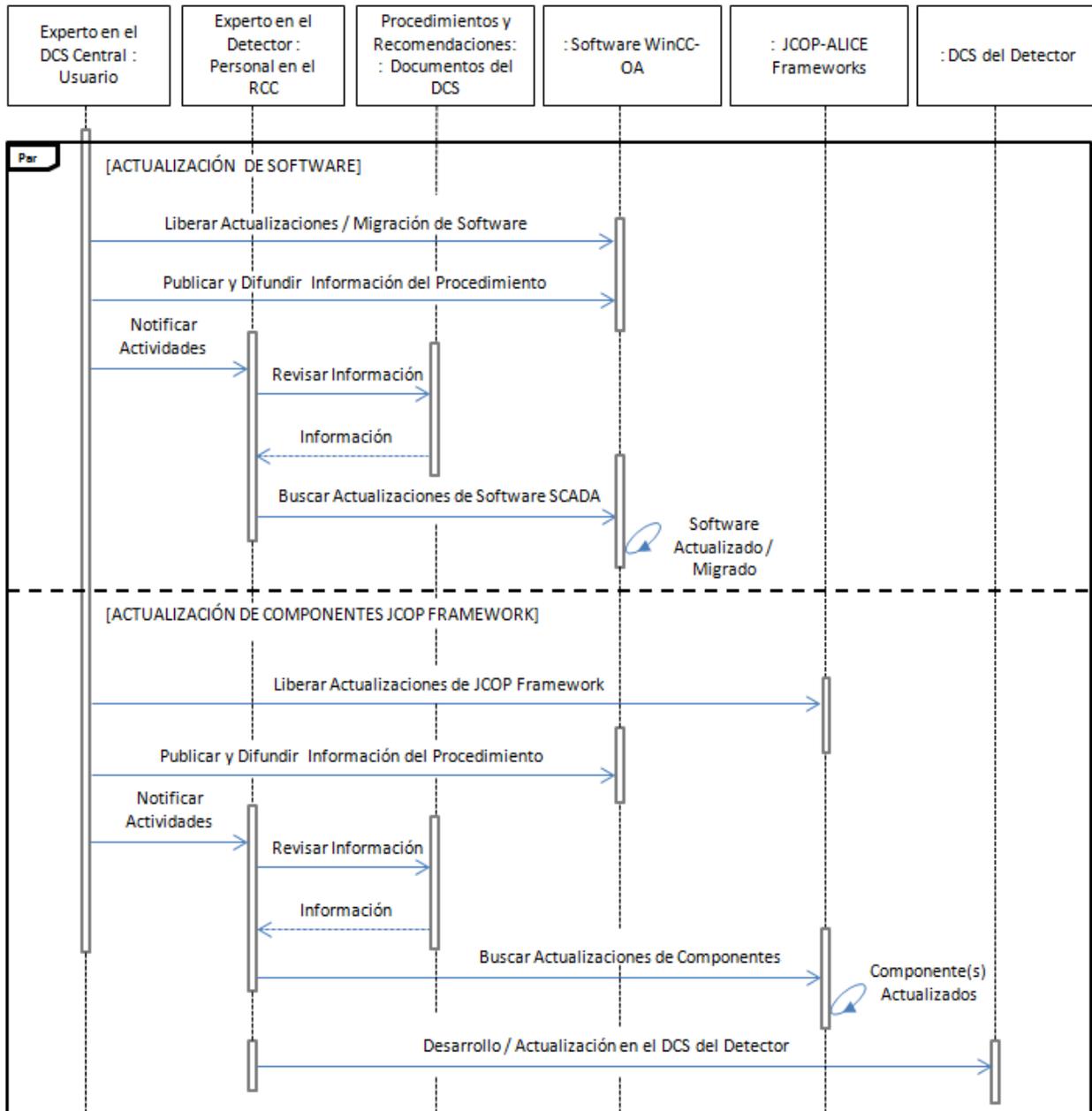


Figura C14. Diagrama de Secuencia – 1. Uso y aplicación del software SCADA y framework actualizados (EDCSC)

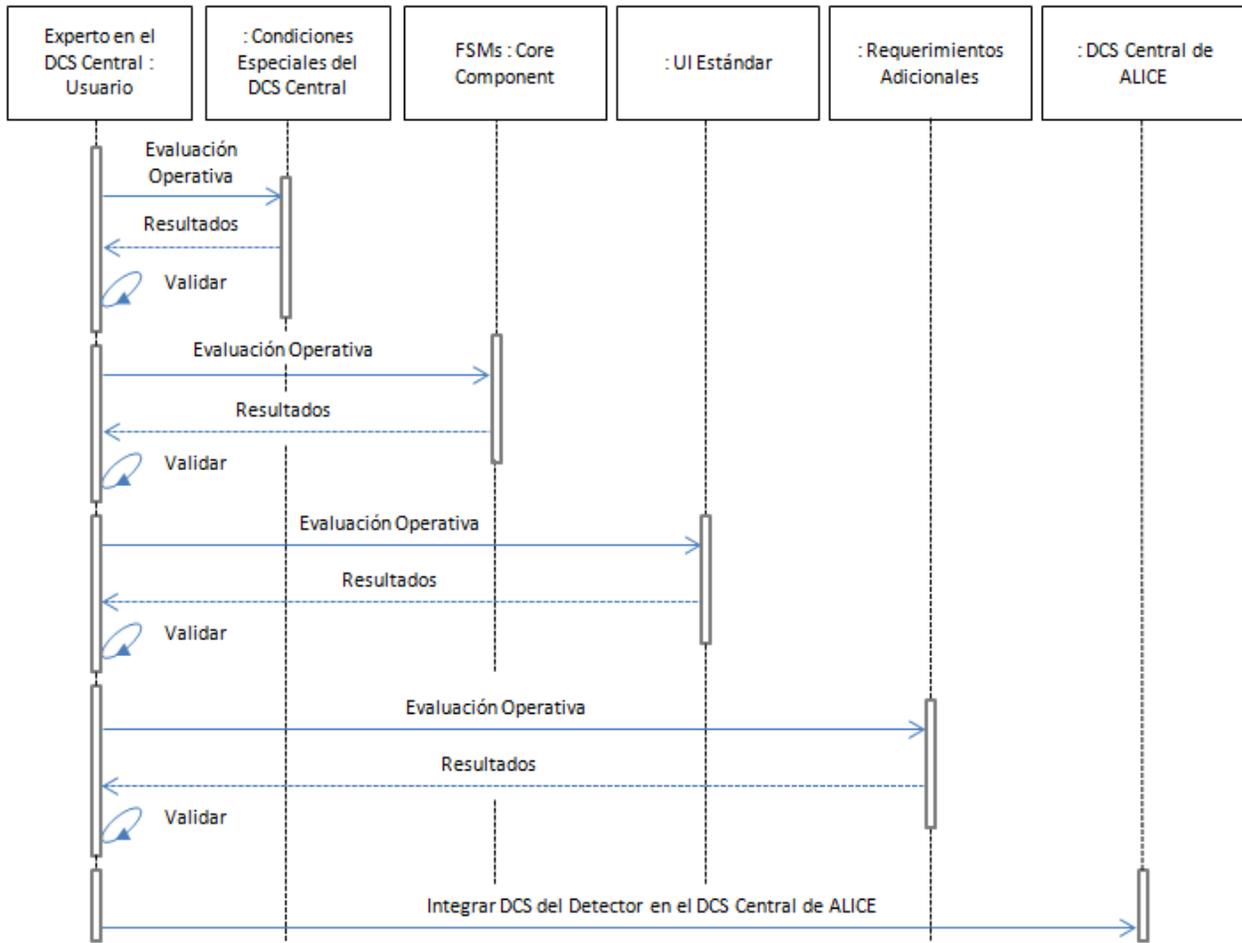


Figura C15. Diagrama de Secuencia – Revisión de las pruebas de integración del sistema de control (EDCSC)

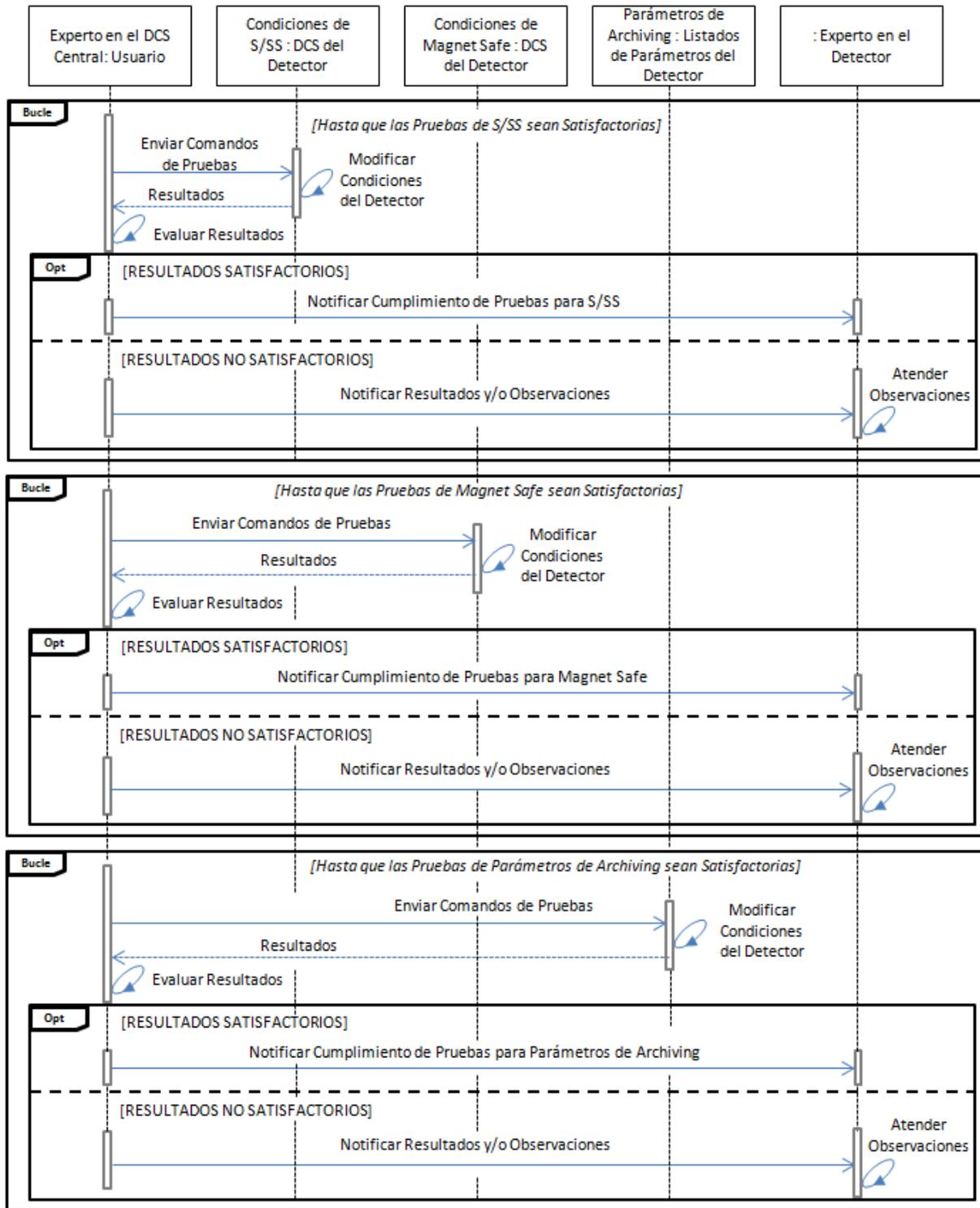


Figura C16. Diagrama de Secuencia – 2. Evaluación operativa de las condiciones especiales (EDCSC)

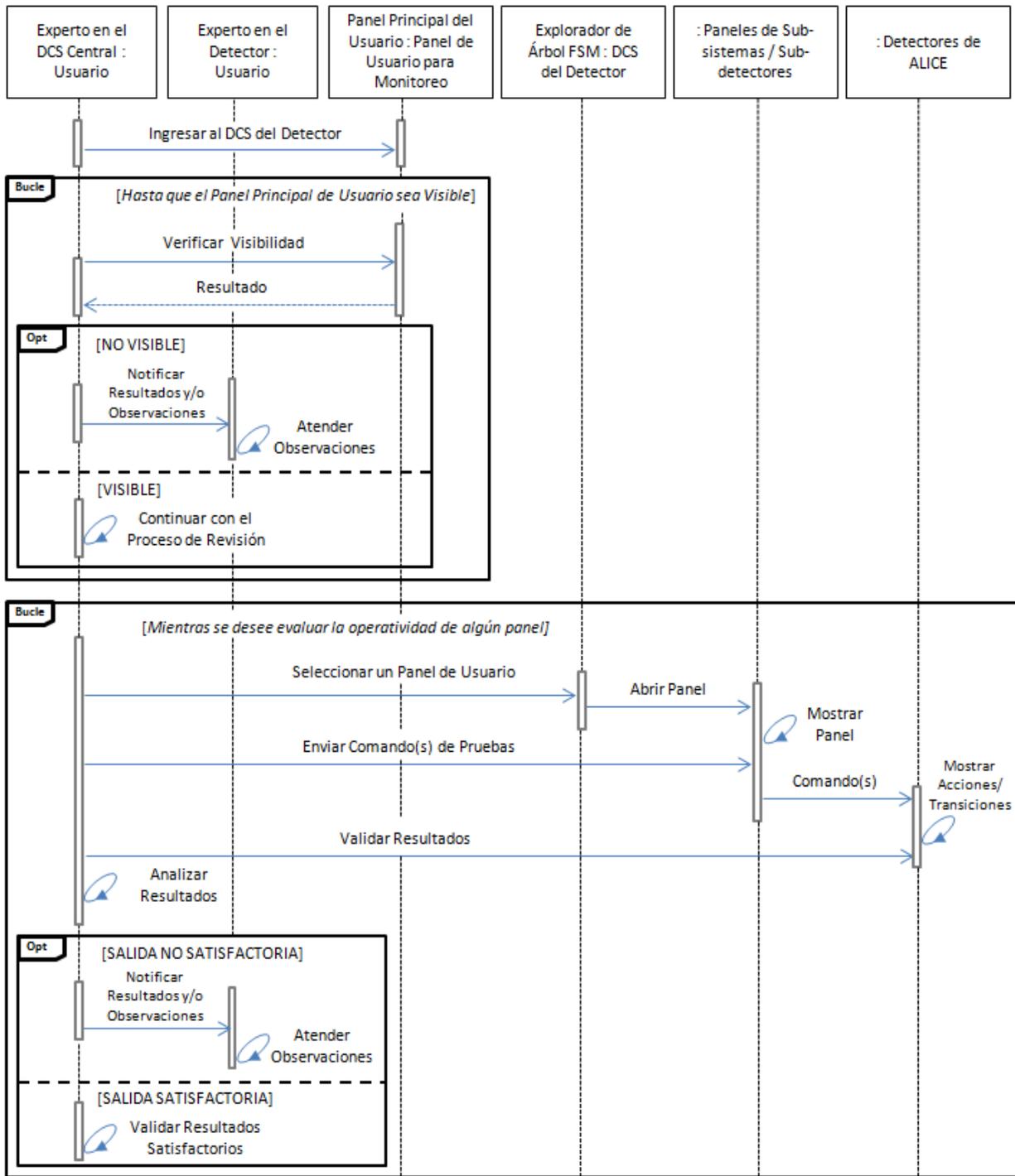


Figura C17. Diagrama de Secuencia – 3. Evaluación operativa de las interfaces de usuario (EDCSC)

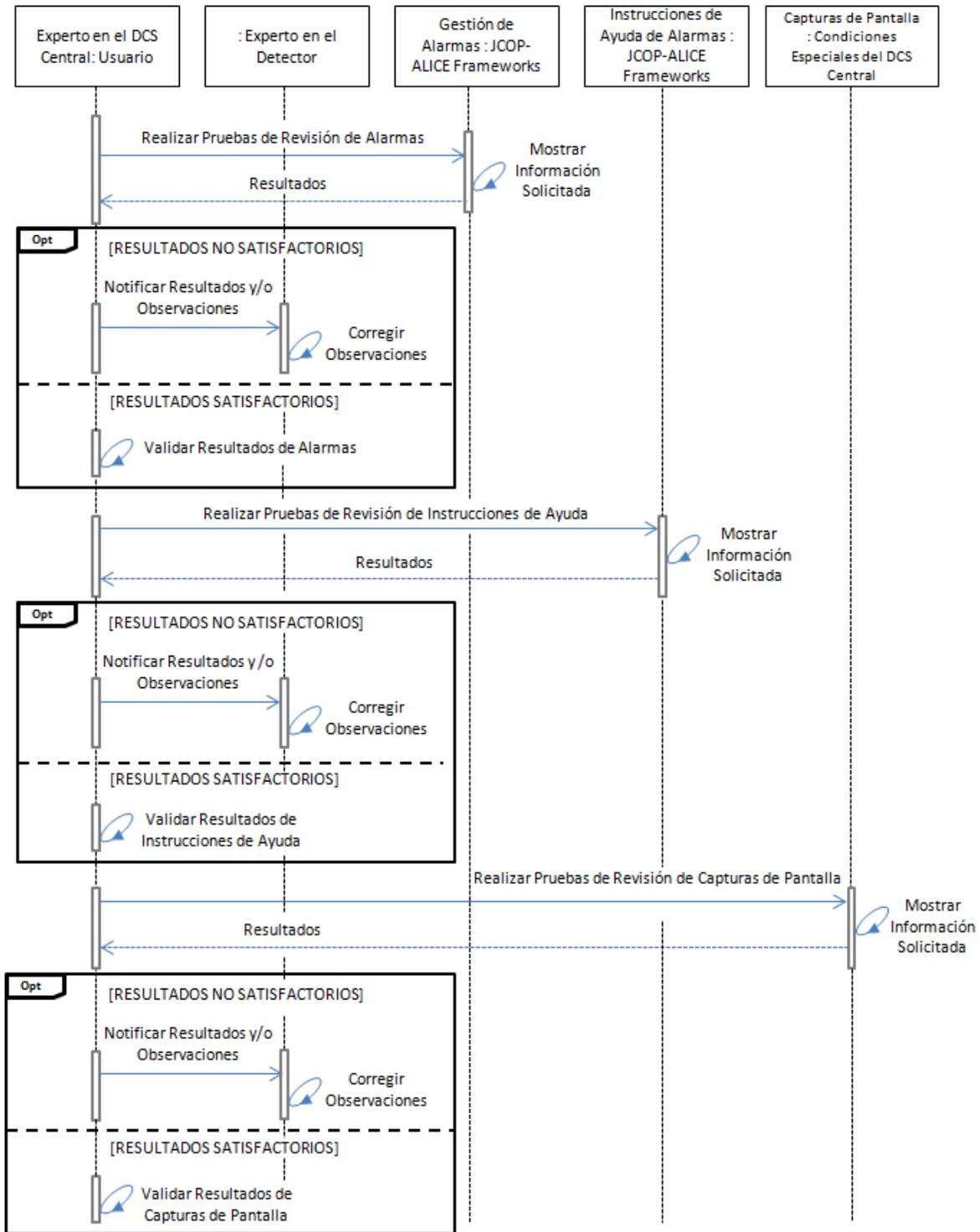


Figura C18. Diagrama de Secuencia – 4. Evaluación operativa de los requerimientos adicionales (EDCSC)

### C.3 Diagramas de Secuencia UML para el Operador en el DCS Central de ALICE

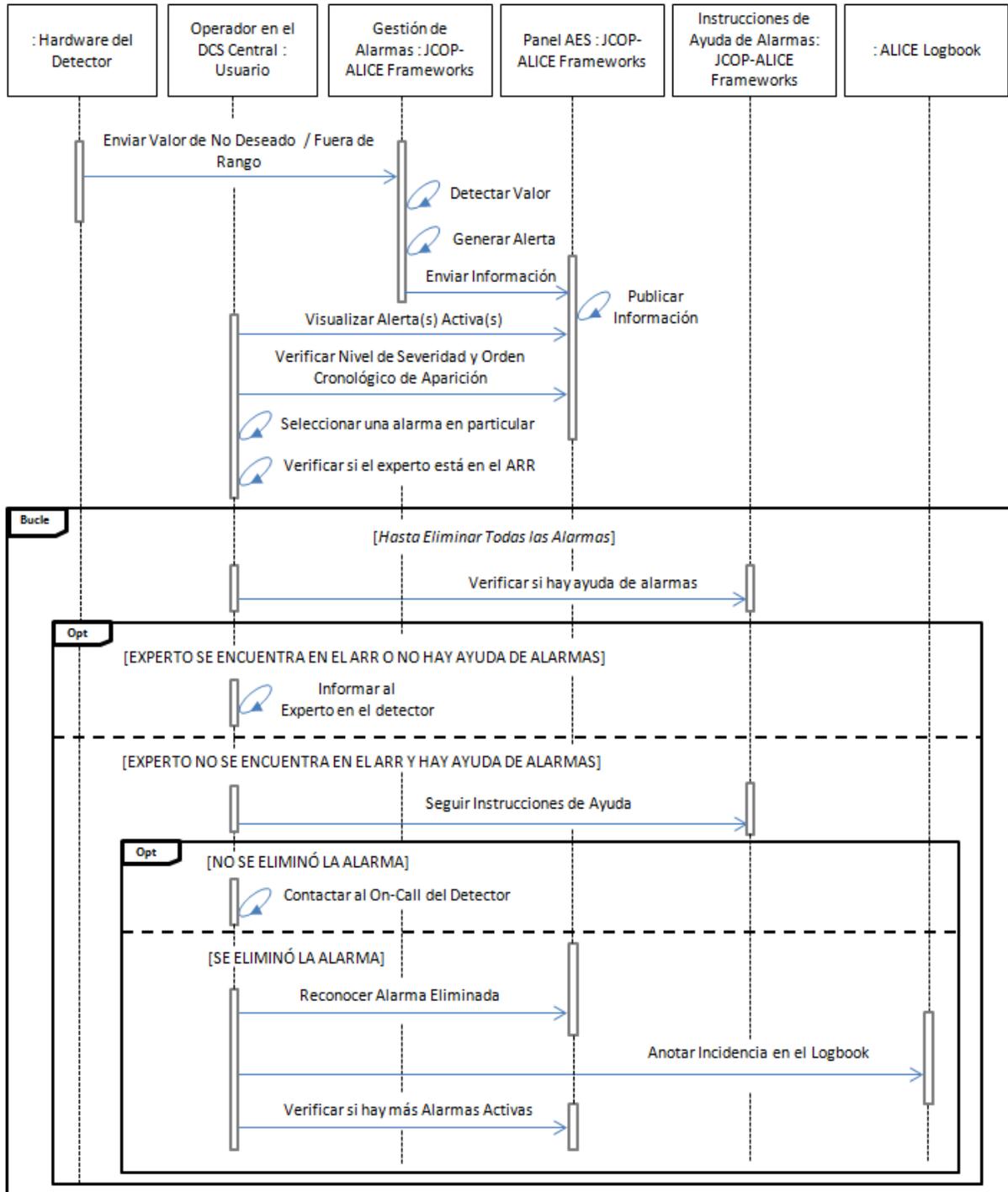


Figura C19. Diagrama de Secuencia – 1. Visualización de alertas del detector e instrucciones para el restablecimiento operativo (ODCSC)

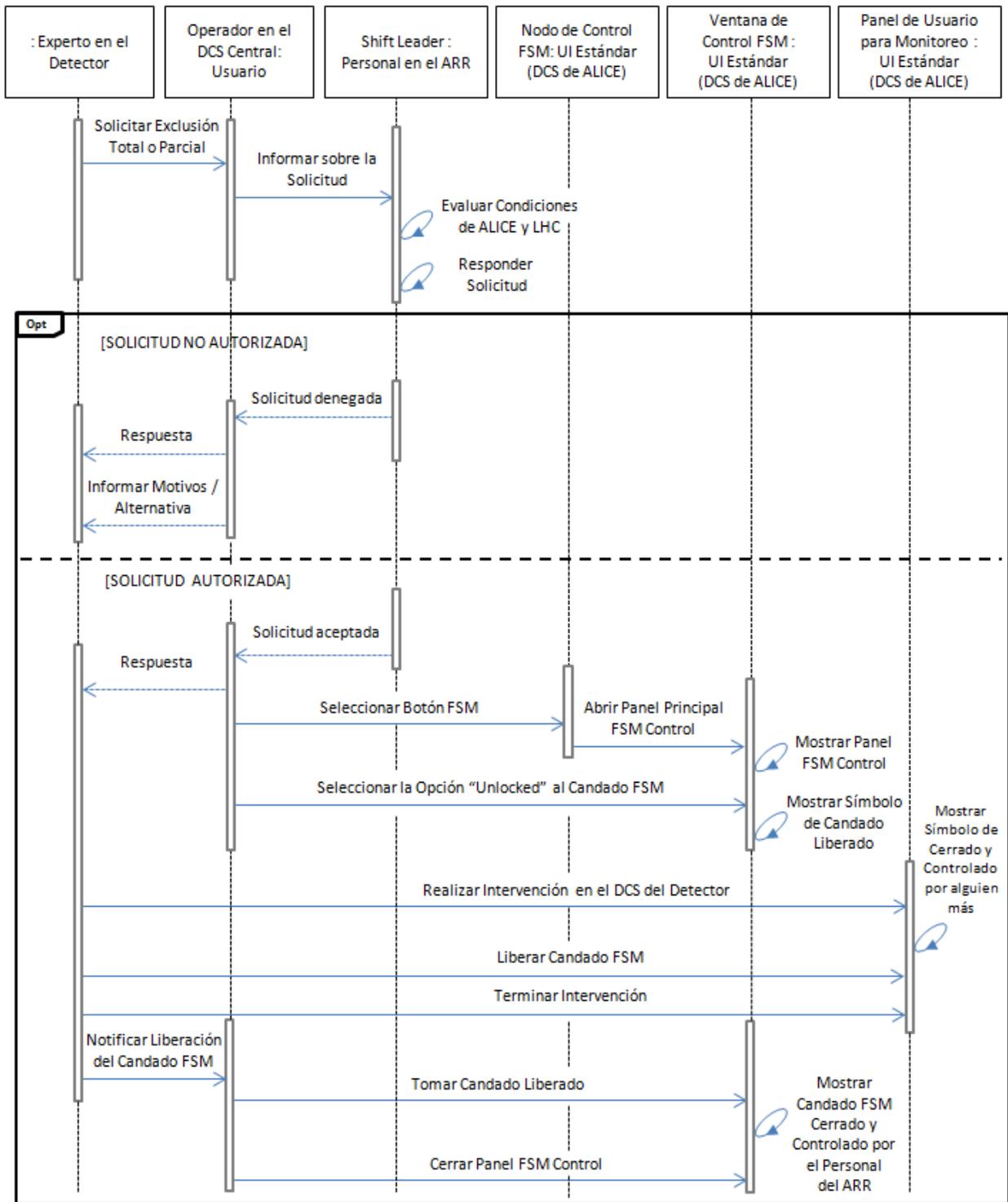


Figura C20. Diagrama de Secuencia – 2. Operación de FSMs (ODCSC)

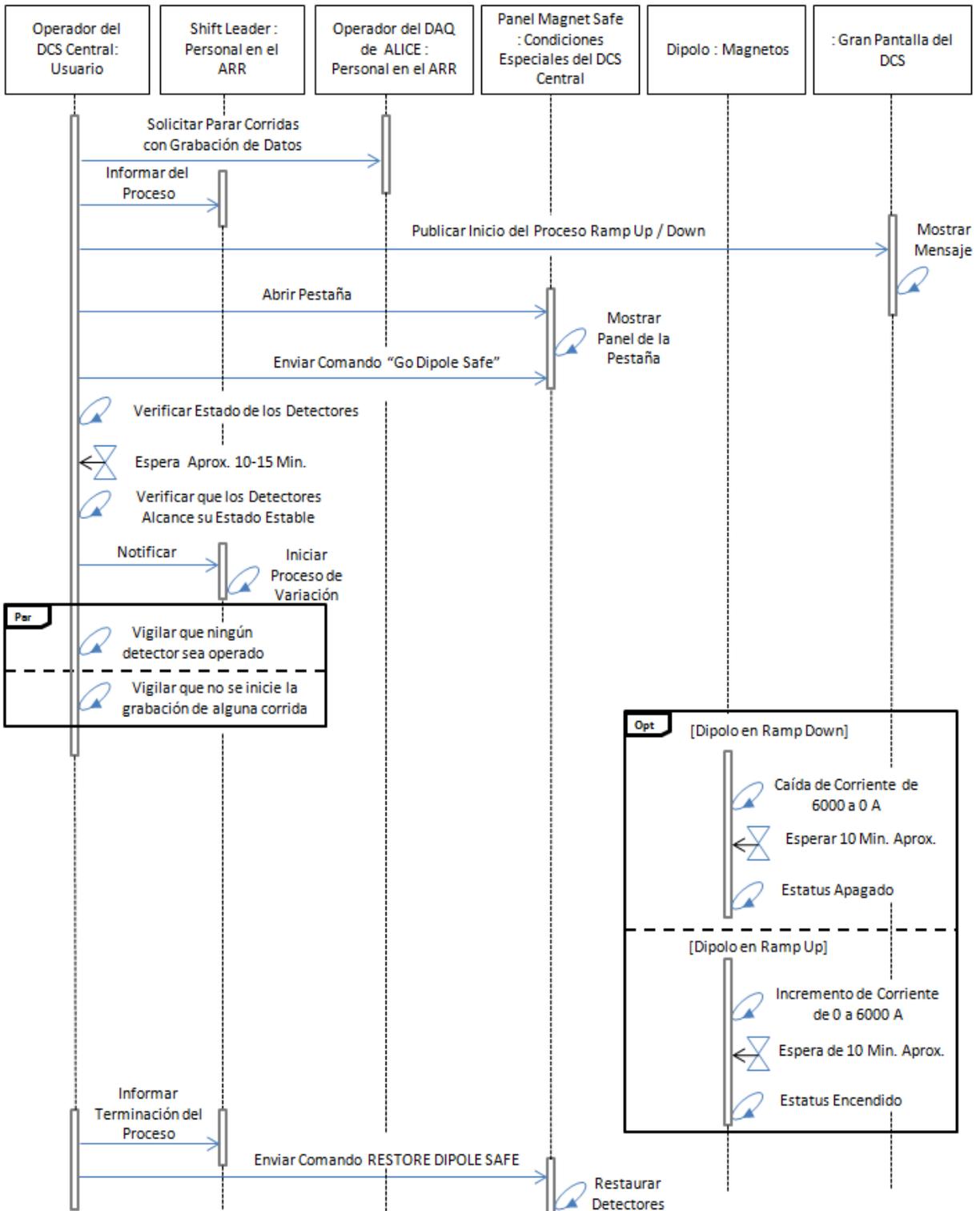


Figura C21. Diagrama de Secuencia – 3. Definición del estado del detector para condiciones especiales.  
 a) Proceso ramp up/down del dipolo (ODCSC)

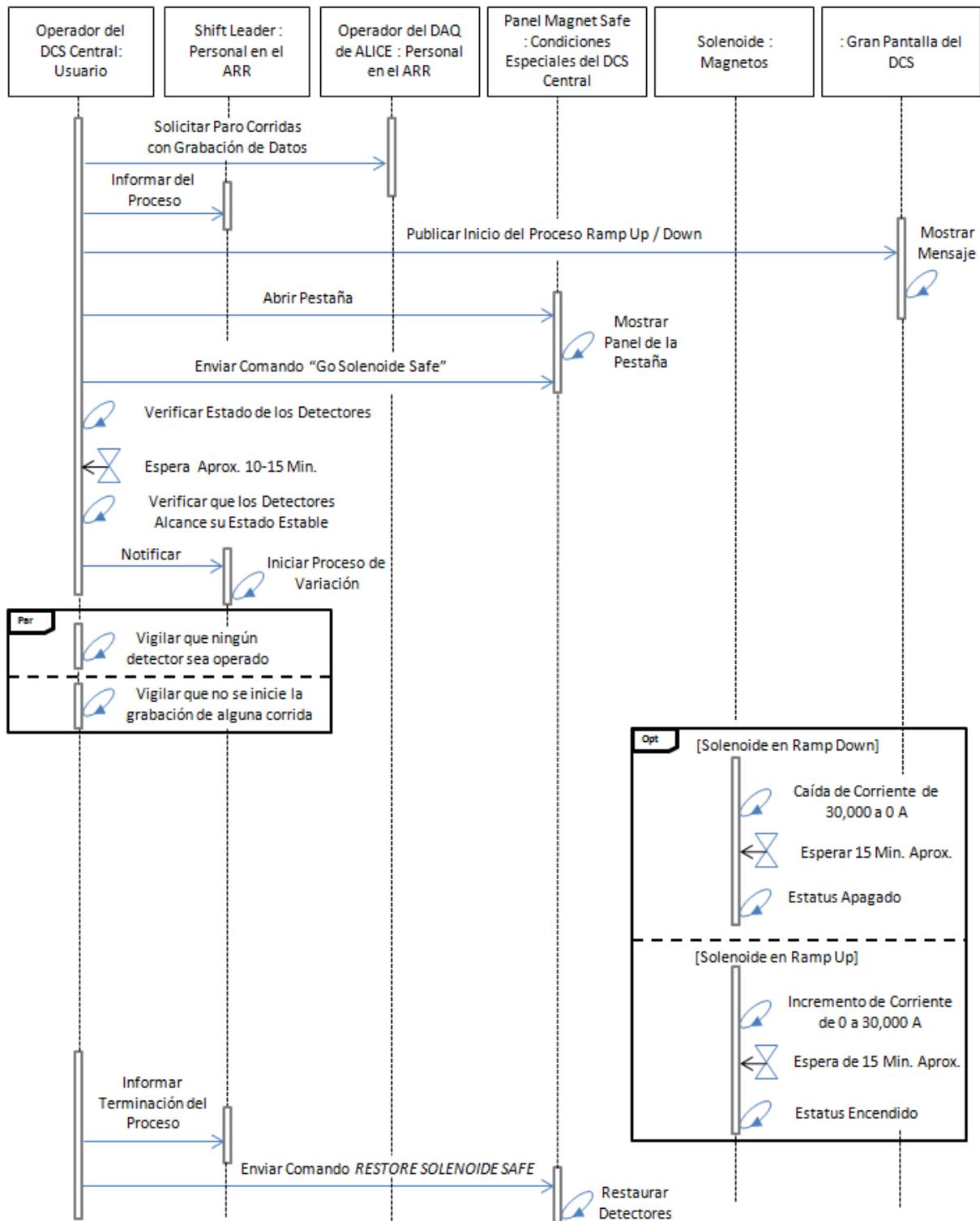


Figura C22. Diagrama de Secuencia – 3. Definición del estado del detector para las condiciones especiales. b) Proceso ramp up/down del solenoide (ODCSC)

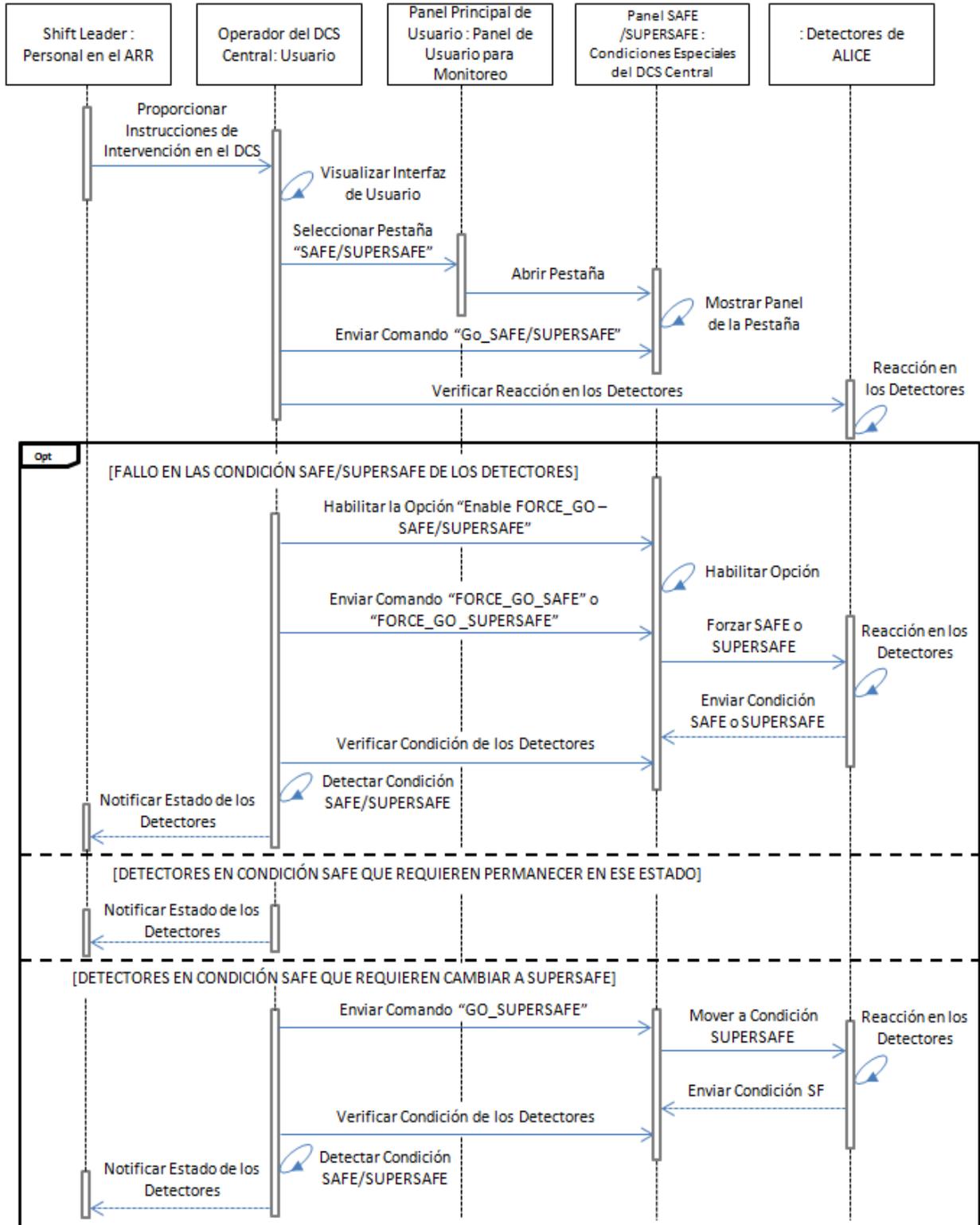


Figura C23. Diagrama de Secuencia – 3. Definición del estado del detector para condiciones especiales.  
 c) Forma estándar para condiciones Safe / SuperSafe (ODCSC)