

# SUBPOWER TRAINING GAME: SISTEMA DE ENTRENAMIENTO VIRTUAL DE MANEJO Y OPERACIONES EN EQUIPOS DE SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DE POTENCIA MEDIANTE SISTEMAS INMERSIVOS

Iván F. Mondragón B. Rodolfo Garcia S., Giovanni Hernandez A.

Centro Tecnológico de Automatización Industrial CTAI -

Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería; Observatorio de Innovación en Alta Tensión ENEL Codensa

Pontificia Universidad Javeriana; ENEL - Codensa

Bogotá, Colombia

[imondragon@javeriana.edu.co](mailto:imondragon@javeriana.edu.co); [rodolfo.garcia@enel.com](mailto:rodolfo.garcia@enel.com); [giovanni.hernandez@enel.com](mailto:giovanni.hernandez@enel.com)

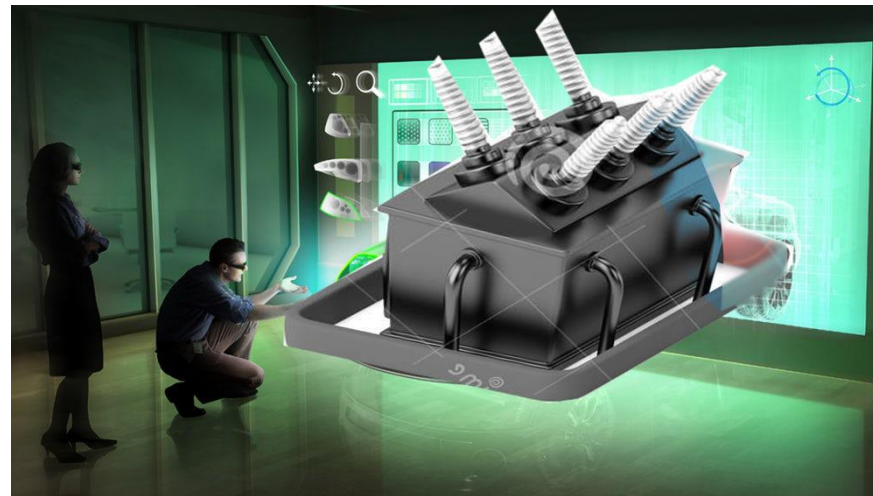


Observatorio  
INnovación



# Objetivo

*Sistema innovador para entrenamiento en operaciones de rutina y mantenimiento en subestaciones eléctricas de potencia, mediante el uso de realidad virtual, sistemas de captura de movimiento, interfaces hápticas en ambientes inmersivos tipo CAVE (Cave Automatic Virtual Environment).*



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Bogotá

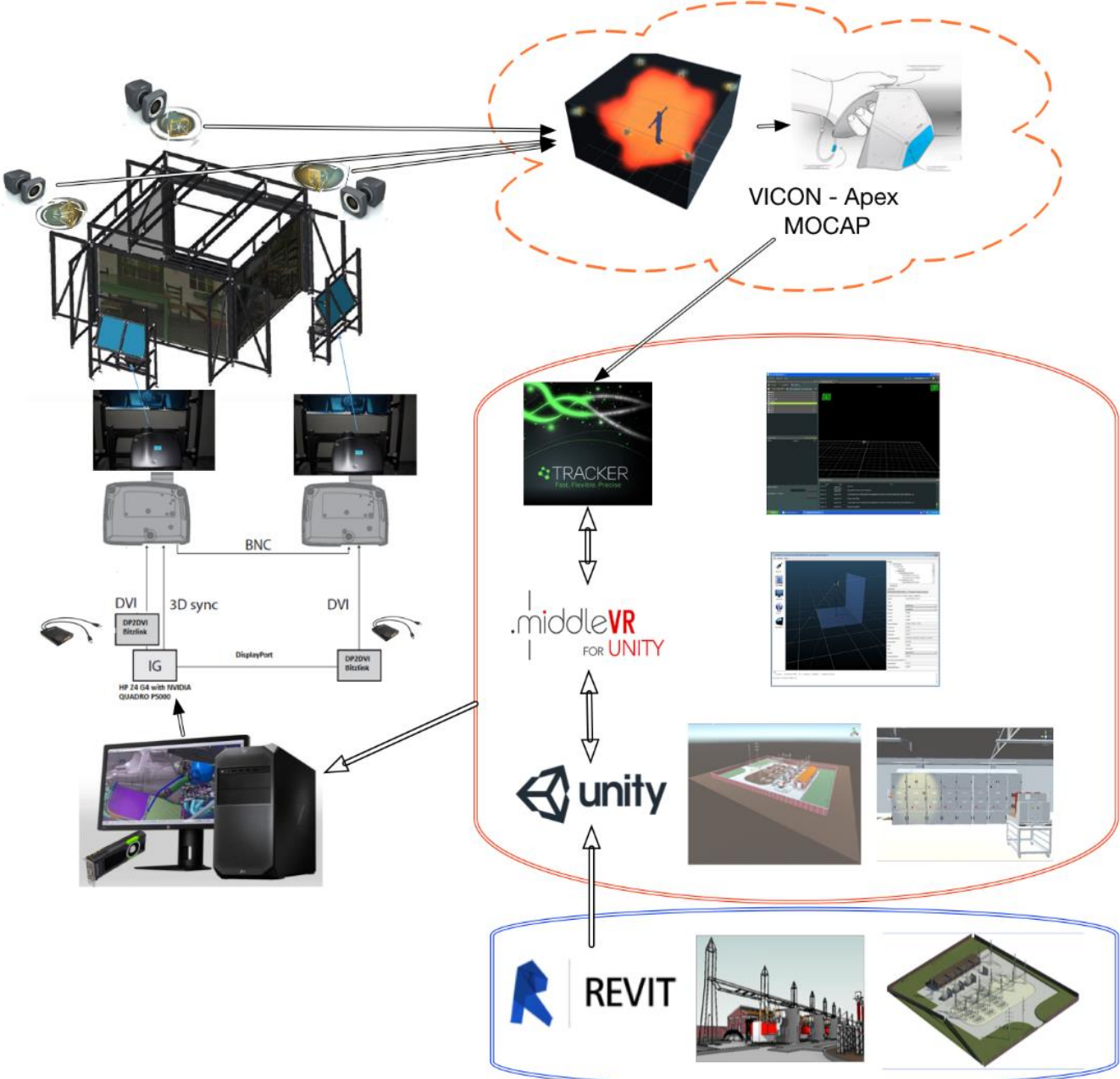


codensa

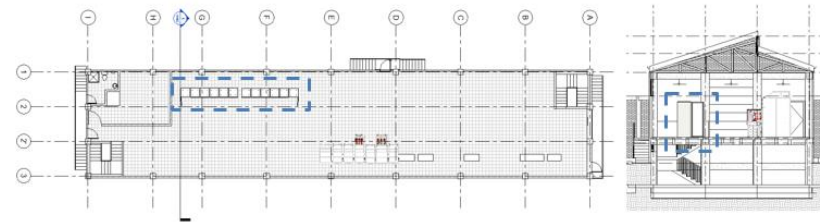
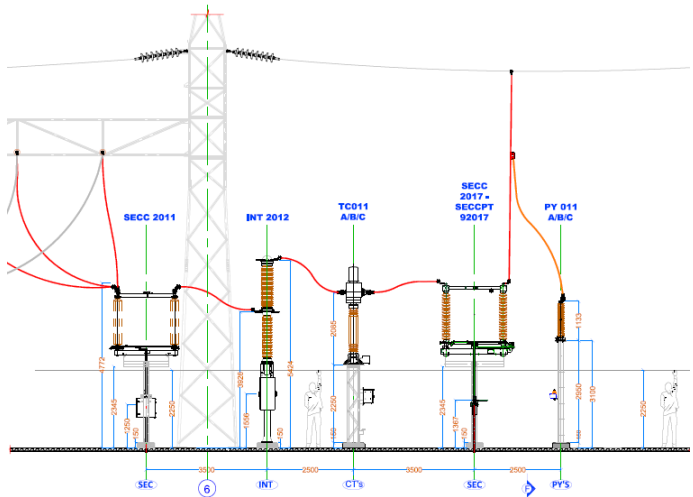
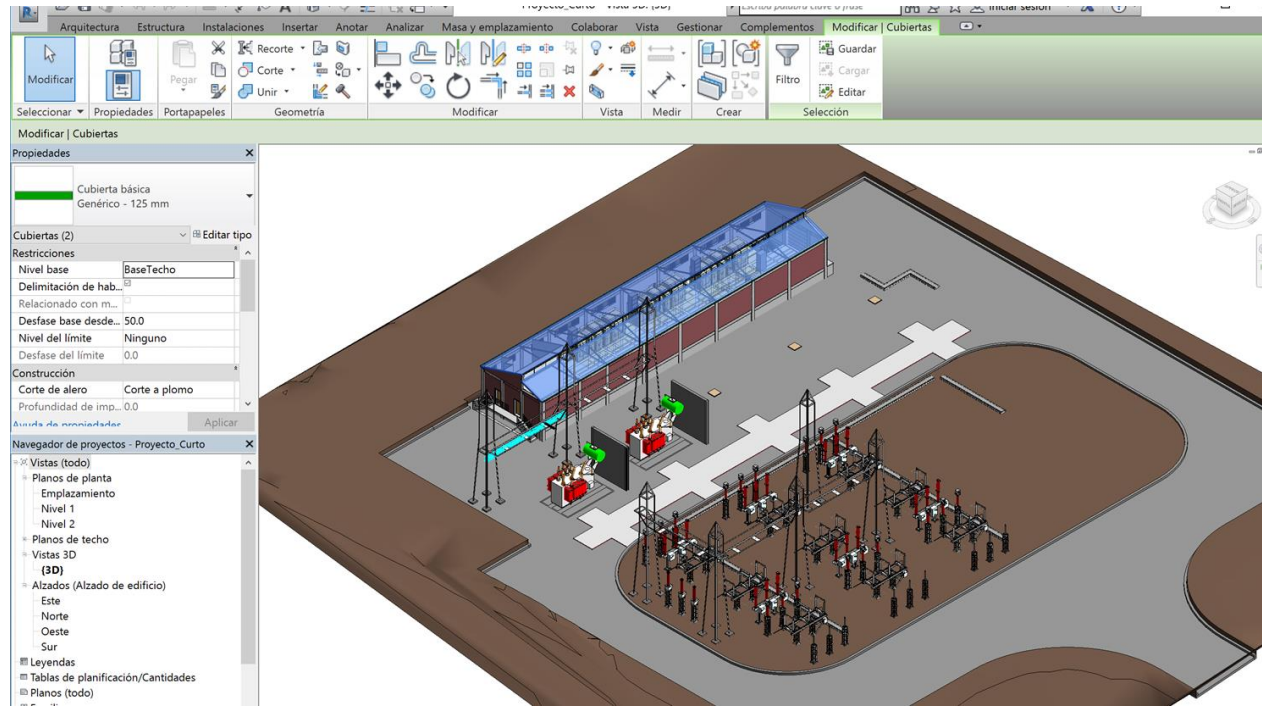


**Observatorio**  
**INNOVACI+ON**

# Sistema

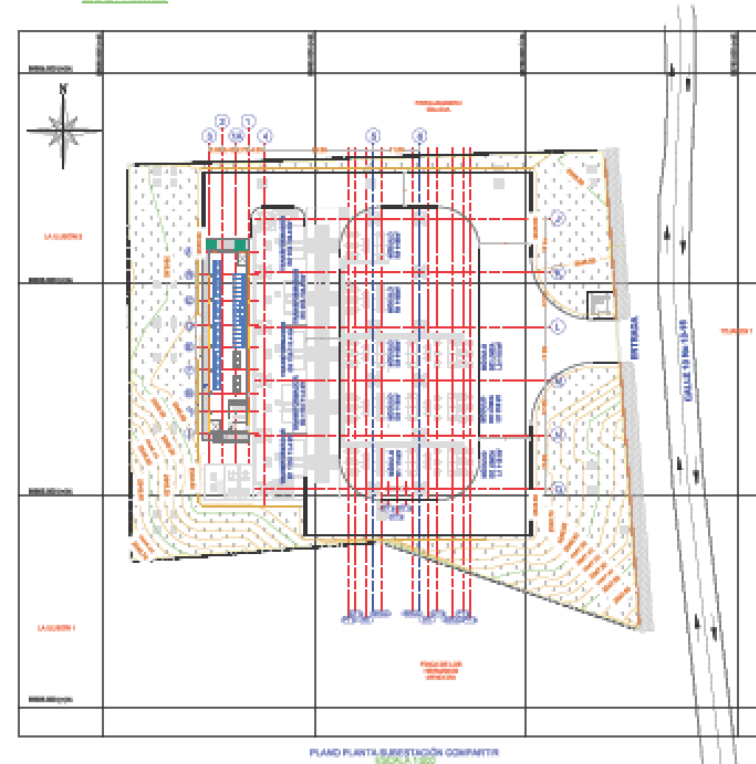
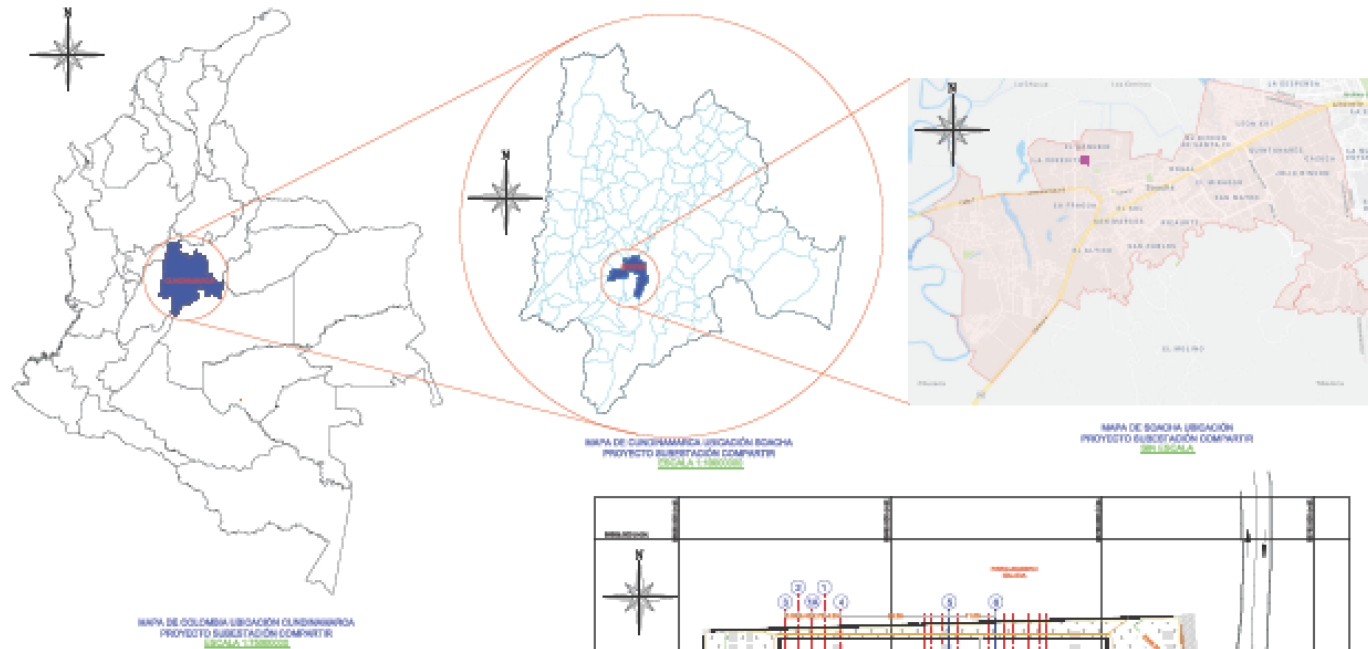


# De planos 2D a modelos BIM





# De planos 2D a modelos BIM



# De planos 2D a modelos BIM



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Bogotá



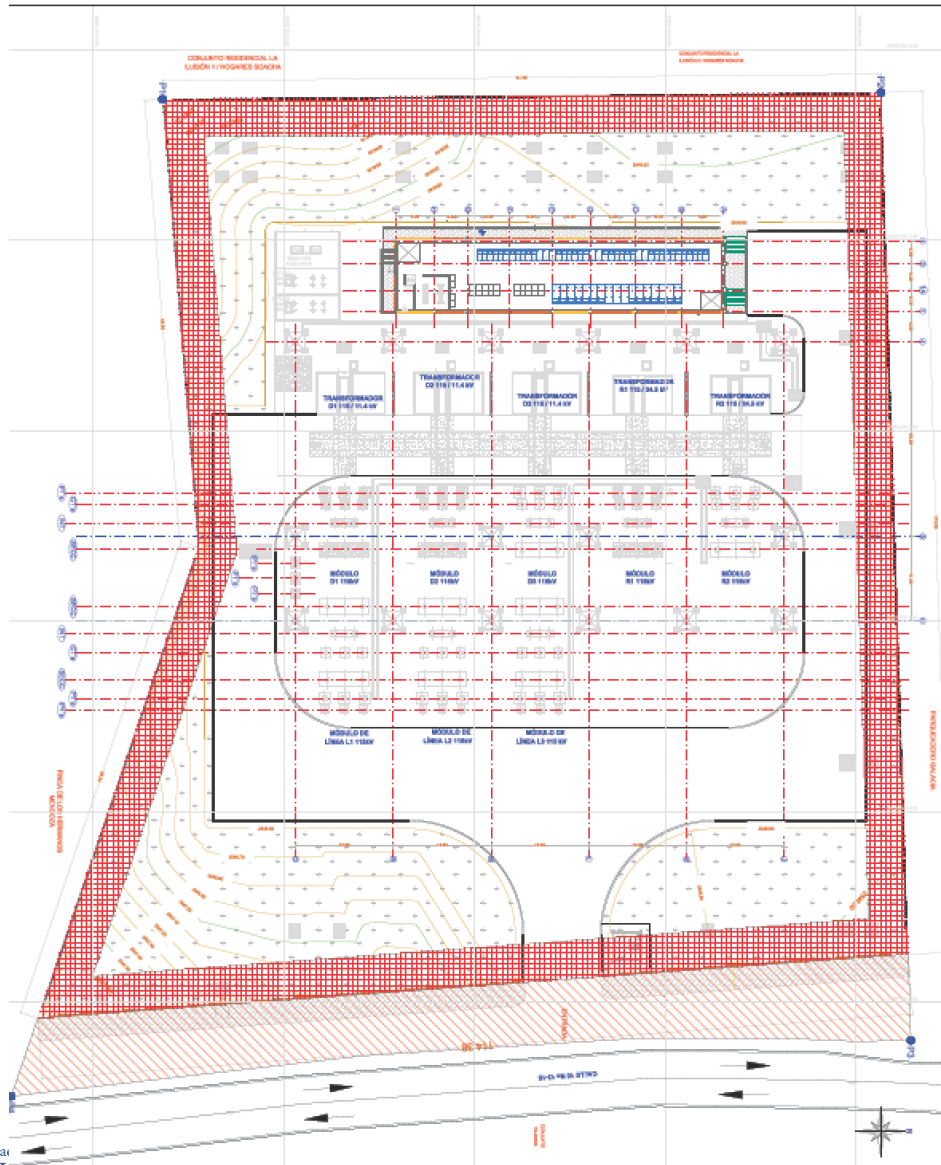
codensa



**Observatorio**  
**INnovaci+on**



# De planos 2D a modelos BIM



Estado obra a Noviembre 2019



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Bogotá



enel  
codensa - emgesa



Observatorio  
**IN**novaci-on

# De planos 2D a modelos BIM



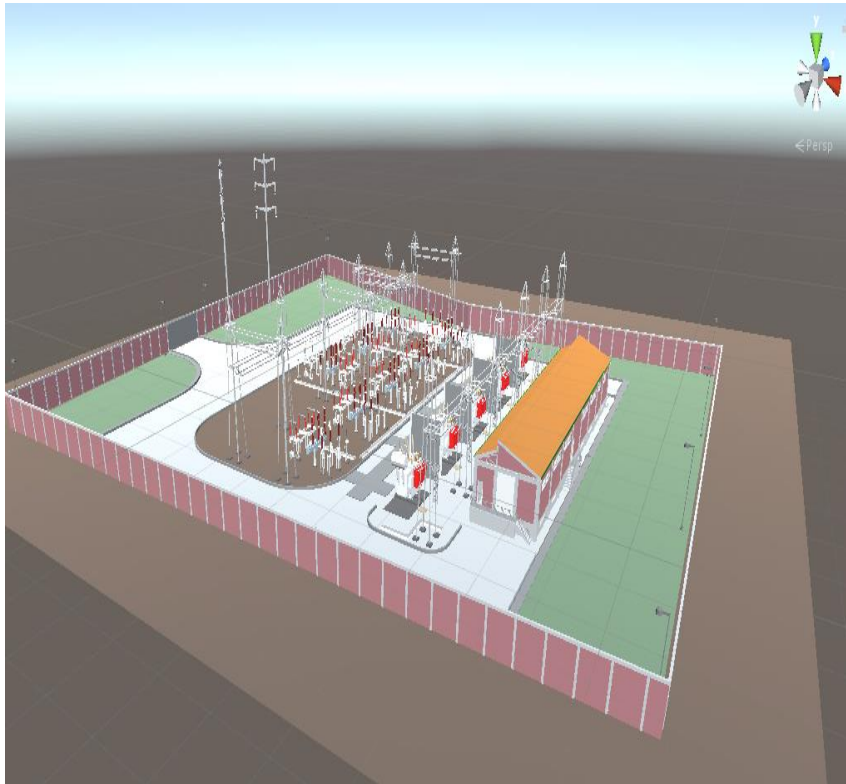
Render bahías 115 kV desde BIM



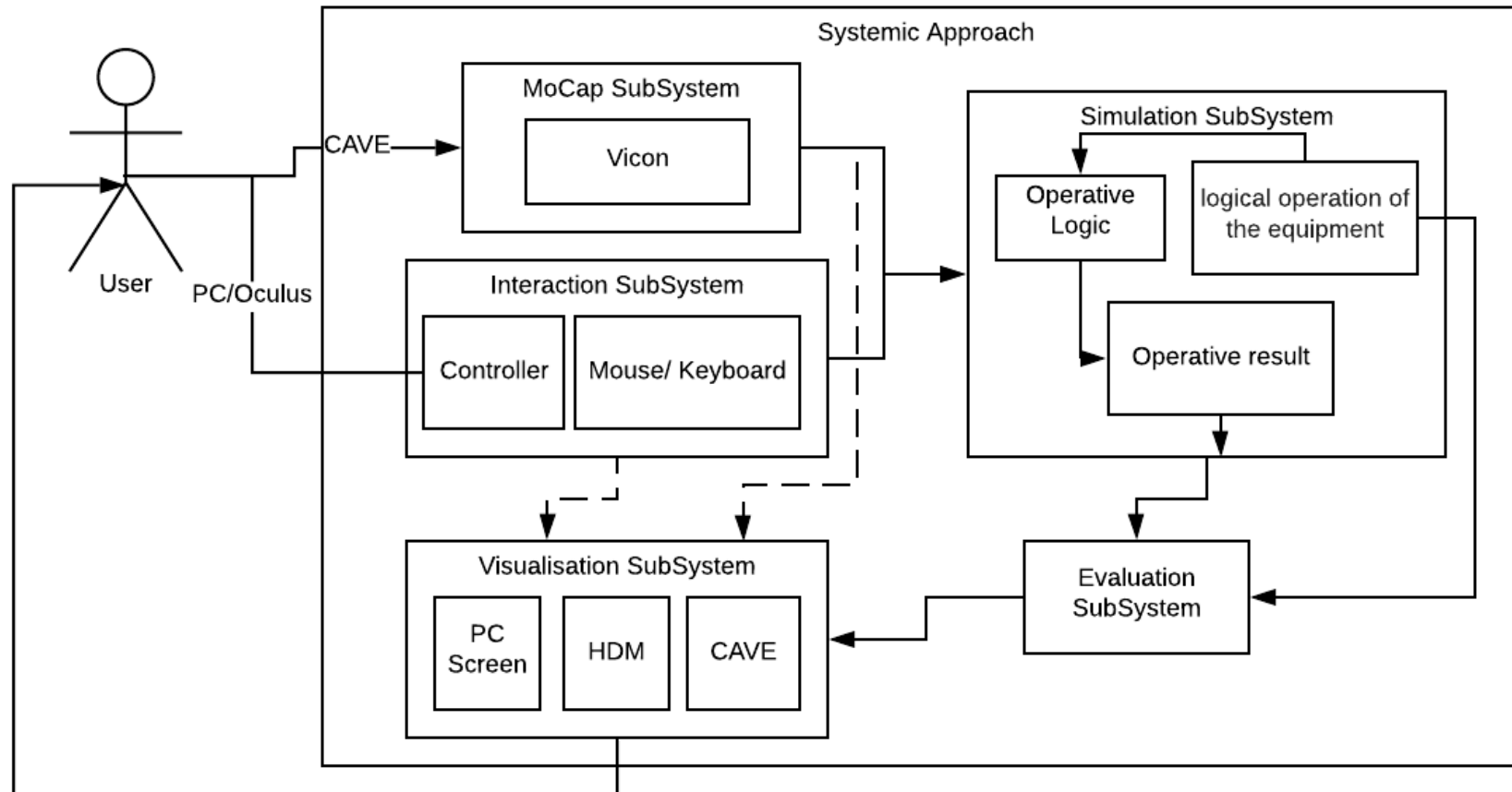
Render Switchgear MT desde BIM



# De BIM a Entorno de Realidad Virtual



# Estructura Lógica del Sistema



# Misiones de entrenamiento

- Misiones enfocadas en la seguridad durante las operaciones (5 reglas de oro) y acorde a los procedimientos establecidos.
- Tres misiones diferentes
  - Reconocimiento de Equipos
  - Cambio de interruptor en Tablero de Medía Tensión en coordinación con Centro de Control
  - Operación manual de seccionador en bahía de 115kV en Coordinación con Centro de Control
- Evaluación automática del desempeño basado en actividades correctas /erróneas y tiempo de ejecución. Ranking acorde a puntaje obtenido





# Misiones de entrenamiento



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Bogotá



codensa



**Observatorio**  
**INNOVACI+ON**

# Evaluaciones de los Operarios usando SUS y GEQ

- System Usability Scale (SUS) permite conocer que tan “usable” e “intuitivo” es el simulador a la hora de ser utilizado.

Escala de Usabilidad del Sistema / System Usability Scale (SUS)

Por favor escriba el nombre del operario: Aector Infante

Este es un cuestionario estándar que mide la usabilidad general del simulador. Seleccione la respuesta que mejor exprese como se siente acerca de cada afirmación<< después de usar el simulador hoy.

	5	4	3	2	1
	Muy de acuerdo	Algo de acuerdo	Neutral	Algo en desacuerdo	Muy en desacuerdo
1. Pienso que me gustaria utilizar este simulador frecuentemente.			X		
2. Encontré el simulador innecesariamente complejo.					X
3. Pienso que el simulador es fácil de usar.				X	
4. Pienso que necesitaria soporte técnico de alguna persona para ser capaz de usar el simulador.	X				
5. Encontré bien integradas las diversas funciones del simulador.		X			
6. Pienso que hay mucha inconsistencia en el simulador.					X
7. Imagino que mucha gente aprenderia a usar este simulador muy rápido.	X				
8. Encontré esta herramienta incomoda de usar.	X				
9. Me sentí muy seguro utilizando el simulador.				X	
10. Necesitaba aprender muchas cosas antes de poder utilizar el simulador.			X		

¿Qué tan probable es que recomiende este simulador a otras personas? (Por favor encierre su respuesta)

Nada probable 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Muy probable

- Game Engagement Questionnaire (GEQ) una herramienta para medir la sensación de pertenencia e inmersión dentro del entorno virtual, con el fin de saber si el usuario realmente cree que lo que está realizando tiene una consecuencia y un trasfondo dentro del proceso virtual.

Cuestionario de Experiencia de Juego / Game Experience Questionnaire (GEQ)

Operario:  
Módulo núcleo

	Para nada (0)	Levemente (1)	Moderadamente (2)	Bastante (3)	Extremadamente (4)
1. Me siento contento			X		
2. Me siento aburrido	X				
3. Estaba interesado en la historia del juego.				X	
4. Pienso que fue divertido			X		
5. Estaba totalmente inmerso con el juego.				X	
6. Me sentí feliz		X			
7. Me dio mal humor	X				
8. Pense sobre otras cosas	X				
9. Lo encuentro agotador	X				
10. Me sentí competente		X			
11. Pienso que fue difícil			X		
12. Fue atractivo estéticamente				X	
13. Olvide todo lo que estaba a mi alrededor				X	
14. Me sentí bien		X			
15. Fui bueno en el simulador			X		
16. Me sentí aburrido	X				
17. Me sentí exitoso		X			
18. Me sentí imaginativo			X		
19. Sentí que podía explorar cosas				X	
20. Lo disfrute				X	
21. Fui rápido para alcanzar los objetivos del simulador		X			
22. Me sentí molesto	X				
23. Me sentí presionado	X				

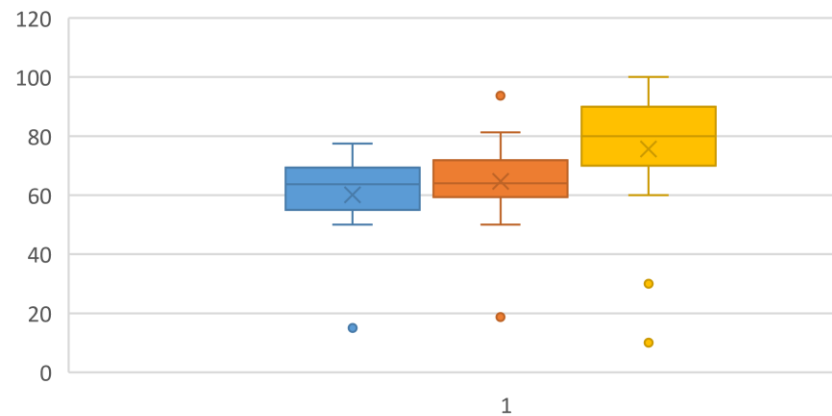
24. Me sentí irritable	X				
25. Perdí la noción del tiempo				X	
26. Me sentí retado				X	X
27. Lo sentí impresionante				X	
28. Estaba profundamente e concentrado en el juego				X	
29. Me sentí frustrado		X			
30. Se sentió como una buena experiencia					X
31. Perdí conexión con el mundo exterior		X			
32. Sentí presión de tiempo	X				
33. Tuve que poner mucho esfuerzo en el juego				X	



# Resultados

Resultados SUS en operarios

■ Ponderación ■ Learnability ■ Recomendación



Sistema de Escala de Usabilidad / System Usability Scale (SUS)																					
#	Pregunta	Operario														Estadísticos			Intervalo de Confianza		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	Promedio	Variación	S. D.	Limite Inferior	Limite Superior
1	Pienso que me gustaría utilizar este simulador frecuentemente.	4	4	4	2	4	4	3	3	3	4	2	2	3	3	2	3,13	0,70	0,83	2,72	3,54
2	Encontré el simulador innecesariamente complejo	1	1	4	1	2	1	3	2	3	1	3	4	3	2	1	2,13	1,27	1,13	1,58	2,68
3	Pienso que el simulador es fácil de usar	3	3	3	3	2	3	2	2	3	4	3	1	3	3	3	2,73	0,50	0,70	2,39	3,08
4	Pienso que necesitaría soporte técnico de alguna persona para ser capaz de usar el simulador	2	2	1	3	2	3	2	1	2	1	1	0	1	0	4	1,67	1,24	1,11	1,12	2,21
5	Encontré bien integradas las diversas funciones del simulador.	1	3	4	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2,73	0,64	0,80	2,34	3,12
6	Pienso que hay mucha inconsistencia en el simulador.	3	2	4	1	2	1	3	3	2	1	4	4	3	3	1	2,47	1,27	1,13	1,92	3,02
7	Imagino que mucha gente aprendería a usar este simulador muy rápido	3	4	4	3	3	4	3	2	3	3	4	4	3	3	4	3,33	0,38	0,62	3,03	3,64
8	Encontré esta herramienta incomoda de usar.	2	1	3	2	2	0	3	3	3	4	4	0	3	1	2	2,20	1,60	1,26	1,58	2,82
9	Me sentí muy seguro utilizando el simulador.	4	2	4	1	3	4	3	2	3	4	3	1	2	4	4	2,93	1,21	1,10	2,39	3,47
10	Necesitaba aprender muchas cosas antes de poder utilizar el simulador.	3	1	0	1	1	4	4	1	3	1	4	2	2	0	2	1,93	1,92	1,39	1,25	2,61
<b>Ponderación</b>		65	57,5	77,5	50	55	67,5	72,5	55	70	65	77,5	52,5	65	55	62,5	63,166667	78,10	8,84	58,84	67,50
<b>Recomendación</b>		10	9	10	8	3	8	8	7	8	9	7	9	9	9	6	8	3,14	1,77	7,13	8,87
<b>Usability</b>		66	63	94	50	59	63	72	63	72	75	81	59	72	69	59	67,708333	112,54	10,61	62,51	72,91
<b>Learnability</b>		63	38	13	50	38	88	75	25	63	25	63	25	38	0	75	45	642,86	25,35	32,58	57,42



# Resultados GEQ

Enunciado	Durante el juego					
	Operario					
	1	2	3	4	5	6
1. Estaba interesado en la historia del juego	3	3	4	3	4	2
2. Me sentí exitoso	1	2	3	2	0	3
3. Me sentí aburrido	0	0	0	0	2	1
4. Lo encontré impresionante	1	3	2	1	2	2
5. Olvide todo lo que estaba a mi alrededor	3	4	3	3	0	4
6. Me sentí frustrado	1	1	0	1	4	0
7. Lo encontré agotador	0	0	0	2	3	0
8. Me sentí irritable	0	0	0	0	3	0
9. Me sentí hábil	0	0	3	2	0	4
10. Me sentí completamente absorbido	2	0	0	3	1	2
11. Me sentí contento	1	3	3	3	0	2
12. Me sentí retado	3	4	3	2	3	2
13. Tuve que poner mucho esfuerzo en el juego	2	3	2	2	4	0
14. Me sentí bien	2	3	3	3	0	4

Enunciado	Módulo post-Juego					
	Operario					
	1	2	3	4	5	6
1. Me sentí vital	1	1	3	3	2	2
2. Me sentí mal	0	1	0	0	3	0
3. Fue difícil volver a la realidad	0	0	0	0	0	0
4. Me sentí culpable	0	0	0	0	3	0
5. Se sintió como una victoria	1	1	3	2	0	1
6. Fue una pérdida de tiempo	0	0	0	0	2	0
7. Me sentí energizado	1	2	2	2	0	2
8. Me sentí satisfecho	1	2	3	3	0	2
9. Me sentí desorientado	1	1	0	0	4	0
10. Me sentí exhausto	2	0	0	0	1	0
11. Sentí que podría haber hecho cosas más útiles	2	1	2	0	0	2
12. Me sentí poderoso	0	0	1	1	0	2
13. Me sentí fatigado	0	0	0	1	2	0
14. Me sentí arrepentido	0	0	0	0	0	0
15. Me sentí avergonzado	0	0	0	0	3	0
16. Me sentí orgulloso	1	1	3	2	0	2
17. Tuve la sensación que había regresado de un viaje	0	0	1	0	0	0

Interpretación	
Para aspectos negativos	Para aspectos positivos
Bueno (0-1)	Bueno (3-4)
Neutral (2)	Neutral (2)
Malo (3-4)	Malo (0-1)



# Entrevistas Post Entrenamiento



# Conclusiones

- Se presenta los resultados de la evaluación del sistema de entrenamiento mediante de virtualización e inmersión en operaciones de rutina en subestaciones eléctricas de la alta tensión.
- De acuerdo a los resultados de esta evaluación, el profesional en formación logra potencializar las habilidades requeridas para la operación segura en espacios de alto riesgos.
- Este tipo de herramientas permiten mejoras aspectos como tiempo, riesgo, daños físicos, accidentes laborales, en situaciones de entrenamiento de alto riesgo, lo que mejora la productividad de las empresas y facilita el entrenamiento del personal técnico en situaciones críticas.).





# Gracias por su atención:

## Preguntas?

- Información adicional en:



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Bogotá

