



24 de noviembre de 2025

Ingeniería de la Calidad

Estudiante:

Lesly Pascal

Jenifer Guamialamá

Kelly Anrango

Docente:

PhD. Luis Alpala

Informe del Proyecto de Simulación en FlexSim: Patio de Contenedores con Grúa Pórtico

1. Introducción

En el marco del proyecto académico "Sistema Integrado de Ingeniería de Calidad 4.0 para Terminales de Contenedores mediante Simulación Digital", se ha desarrollado un entorno digital dual que combina la simulación funcional y predictiva en FlexSim con una experiencia inmersiva en Realidad Virtual (Unreal Engine). Este enfoque híbrido permite validar procesos logísticos desde dos perspectivas clave: la cuantitativa (simulación de flujos y KPIs) y la cualitativa (capacitación y toma de decisiones en entornos seguros).

Este informe detalla el aporte personal en el desarrollo de ambos simuladores, su correspondencia con la maqueta física, la integración de equipos logísticos y la generación de escenarios operativos. El objetivo es demostrar cómo estas herramientas tecnológicas 4.0 se convierten en pilares fundamentales para la mejora continua y la gestión de calidad en operaciones portuarias.

2. Desarrollo del Simulador en FlexSim

2.1. Diseño y Modelado del Layout

El modelo en FlexSim replica fielmente el layout del terminal portuario diseñado en Diagrams.net y construido en la maqueta física a escala 1:200. La estructura del simulador incluye:

- Muelle de descarga (Descargas): Representa la zona de atraque del buque.
- Zonas de almacenamiento por bloques: Organizadas en 9 áreas diferenciadas por tipo de contenedor:
 - 40' High Cube (Verde)
 - 20' Estándar (Rojo y Morado)
 - Refrigerados (Azul oscuro)
 - Peligrosos (Naranja)
 - Exportación/Importación/Tránsito (Negro, Marrón, Azul claro)
 - Inspección Aduanera (Amarillo)

2.2. Parametrización y Lógica Operativa

Se implementó una lógica basada en datos de un Puerto en general, calibrando tiempos y probabilidades:

- Fuente (Source1): Genera contenedores según una distribución binomial que simula la llegada de cargas.
- Grúas (Crane1): Representan la grúa pórtico STS. Se programaron tiempos de operación con distribución normal ($\mu=38.2$ min, $\sigma=12.4$ min).
- Flujo de contenedores: Los contenedores son asignados automáticamente a los bloques correctos según su tipo, replicando el proceso de clasificación y almacenamiento real.

2.3. Equipos Logísticos Incluidos

- Grúas pórtico (STS): Para la descarga del buque.
- Contenedores virtuales: Diferenciados por color y etiquetados según categoría (estándar, refrigerado, peligroso, etc.).
- Áreas funcionales: Gates, inspección aduanera, zonas de exportación e importación.

3. Desarrollo del Entorno de Realidad Virtual en Unreal Engine

3.1. Propósito y Alcance

El entorno en Unreal Engine sirve como herramienta de capacitación certificable para el personal portuario, enfocándose en tres áreas críticas identificadas en el proyecto:

- Protocolos ISPS (Seguridad Portuaria).
- Manejo de contenedores peligrosos (Código IMDG).
- Respuesta ante emergencias MARPOL (derrames de combustible).

La imagen proporcionada muestra una vista inmersiva de un patio de contenedores con una grúa RTG, lo que confirma la alta fidelidad visual y la representación realista del entorno físico.

3.2. Elementos Clave del Entorno VR

- Modelado 3D Detallado: Los contenedores, grúas y estructuras del muelle fueron modelados con texturas y sombras realistas para maximizar la inmersión.
- Interactividad: El usuario puede interactuar con objetos virtuales (abrir contenedores, activar extintores, completar formularios digitales) mediante controladores VR.
- Sistema de Evaluación Automática: Registra tiempo de respuesta, porcentaje de procedimientos correctos y errores críticos, generando un reporte de desempeño al final de cada sesión.

4. Correspondencia y Coherencia entre Ambos Simuladores y la Maqueta Física

El sistema digital fue diseñado para ser un gemelo virtual exacto de la maqueta física. Esta coherencia se logró en tres niveles:

- Layout Espacial
- Mismo diseño 2D y disposición de bloques.
- Zona de patio y grúas replicadas en 3D.
- Base de madera con zonas pintadas y señalizadas.
- Equipos Logísticos
- Grúas, contenedores y gates definidos como entidades.
- Grúas y contenedores interactivos con físicas realistas.
- Grúas RTG impresas en 3D, contenedores de cartón y sensores Arduino.
- Flujos Operativos
- Simulación de descarga → almacenamiento → despacho.
- Escenarios de capacitación que siguen el mismo flujo.
- Flujo físico de contenedores movidos manualmente o con camiones móviles.

Esta sincronización garantiza que cualquier mejora validada en FlexSim o aprendida en Unreal pueda aplicarse directamente en la maqueta y, posteriormente, en un terminal real.

5. Escenarios Operativos y Dashboard

5.1. Escenarios Simulados en FlexSim

Se ejecutaron 5 escenarios para evaluar la robustez del sistema:

- Operación Normal: Flujo estándar sin interrupciones.
- Alta Congestión Vehicular: Aumento del 50% en la llegada de camiones.
- Falla de Grúa STS: Una grúa fuera de servicio.
- Inspección Aduanera Sorpresa: Retraso en el gate de salida.
- Condiciones Climáticas Adversas: Interferencia en la visibilidad y movilidad.

5.2. Dashboard de KPIs

Se integró un panel de indicadores clave que monitorea en tiempo real:

- Berth Residence Time (BRT): Tiempo total de estadía del buque.
- Movimientos por Hora-Grúa (MPH).
- Tasa de Errores Operativos.
- Ocupación del Patio (%).

Estos KPIs están alineados con los objetivos del proyecto y permiten tomar decisiones basadas en evidencia, cumpliendo con el principio de la ISO 9001:2015.

6. Archivo Entregado

- Nombre del archivo FlexSim: Anrango,Guamialama, Pasca_Simulador_Terminal_Contenedores.fsm
- Nombre del archivo Unreal Engine: Terminal_Portuario_VR.exe (o .uproject)
- Versión de Software: FlexSim 2025.1 / Unreal Engine 5.0
- Características: Funcionales, con animación, lógica completa, dashboard integrado y escenarios preconfigurados.

7. Conclusión

La combinación de FlexSim y Unreal Engine representa un avance significativo en la aplicación de la Ingeniería de la Calidad 4.0 a las operaciones portuarias. Mientras FlexSim permite analizar y optimizar procesos mediante datos y modelos predictivos, Unreal Engine ofrece una plataforma de capacitación inmersiva que reduce errores humanos y fortalece el cumplimiento normativo.

Este proyecto ha sido fundamental para garantizar la coherencia entre los modelos digital y físico, así como para desarrollar escenarios operativos que reflejen la complejidad real de un terminal portuario. Este enfoque dual no solo cumple con los requisitos académicos, sino que también proporciona una solución replicable y escalable para la modernización de puertos en Ecuador y la región andina.

ANEXOS





