ANEXO TÉCNICO

El presente proceso contractual busca la ADQUISICIÓN y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO de toda una suite de capacidades digitales, tanto hardware como software para innovar en las maneras en las que el público visitante al Museo Aeroespacial interactúa con el material e información contenida en el mismo, para el efecto el contratista deberá proveer productos en dos frentes:

Una primera relacionada con el SOFTWARE, y deberá ser una experiencia de realidad virtual inmersiva multiusuario en donde podrán interactuar con un mínimo de 3 usuarios simultáneamente, con capacidad de ser escalable a futuro hasta 6 usuarios simultáneos, realizando una misión en conjunto, en un tiempo configurable entre 5 y 10 minutos por grupo. El software debe poder introducir el objetivo de la misión, y dar instrucciones en simultánea, y ser lo suficientemente intuitiva que permita al siguiente grupo de usuarios iniciar la experiencia. El guion narrativo de la misión será proporcionado por el supervisor del contrato.

En segunda instancia el contratista deberá proveer todos los elementos de HARDWARE que servirán como puente físico interactivo con la experiencia, y por tanto se especifican tanto las características con las que debe contar el espacio virtual de simulación, y los elementos a utilizar para dicha interacción, especificados de la siguiente manera:

SOFTWARE

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LA SIMULACIÓN: El ambiente de simulación 3D consistirá en el desarrollo de un entorno gráfico, mediante el cual será posible interactuar sobre escenas (hangares/rampas y otros ambientes usuales del ámbito aeronáutico) y objetos simulados (aeronaves, uniformes, entre otros) de apariencia real, en lenguaje español (latinoamericano), haciendo uso de los componentes de hardware descritos en la presente ficha técnica y adaptados a los procedimientos, imagen institucional y demás condiciones descritas en el anexo técnico.

El contratista garantizará que el ambiente en realidad virtual sea instalado con pruebas de funcionamiento en cada una de las estaciones de realidad virtual VR, estas pruebas deben ser validadas por el supervisor del contrato. Además, el contratista deberá entregar una copia de la aplicación compilada, al igual que el código fuente, que pueda ser utilizado por la entidad a futuro como respaldo de la simulación.

El ambiente de realidad virtual contará con dobles digitales (de objetos pequeños, medianos y escenarios) que recrearán de manera fiel los ambientes que deben reproducirse como parte de la experiencia interactiva. Escenarios como hangares, terreno, aeropuertos, u otros escenarios requeridos por la supervisión del contrato.

La solución de realidad virtual debe estar soportada en Motor gráfico que implementa Interfaz abstracta para los APIs de renderizado incluyendo soporte para múltiples plataformas y como mínimo Vulkan, Directx12, DirectX 11, y OpenGL; El motor debe estar escrito en un leguaje de nivel intermedio o bajo standard de la industria, como lo es el C++ en el cual están desarrollados motores como Unity, Unreal, Cry Engine, Stingray Engine, Source Engine, Dagor Engine, etc. El lenguaje utilizado principalmente por el motor para su ejecución a tiempo real debe ser de nivel bajo o intermedio, y debe contar con la siguientes características para garantizar el alto rendimiento consistente de la aplicación: manejo manual de memoria sea de parte del usuario del motor por medio de una herramienta propia del motor que garantice no causar variaciones de FPS debido a la interferencia de sistemas externos de control de memoria, el lenguaje compilado debe cargar directamente en assembly si ningún compilado a tiempo real para evitar posibles golpes en rendimiento derivados de limitaciones propias del lenguaje y sus herramientas durante el tiempo de ejecución, finalmente el motor debe permitir al desarrollador programar directamente en el lenguaje intermedio para asegurar que el desarrollador tenga un alto nivel de control sobre el rendimiento del código de la aplicación. El motor mapea texturas e iluminación de manera realista basado en pipeline grafico PBR los cuales están preparados para ser programados bajo lenguaje C++ u otro lenguaje de nivel intermedio o bajo, o en lenguaje visual (blueprints o equivalente). Los shaders son tipo PBR. Las escenas desarrolladas cuentan con iluminación dinámica siempre que es requerido sin afectar la experiencia de usuarios y/o los FPS. De igual forma los materiales de los elementos recreados generan reflejos de iluminación y semejanza de materiales que contribuye al realismo de la escena.

Toda la experiencia corre a un promedio de *Frames per Second o Fotogramas por Segundo, en adelante FPS* superior a 90. El desarrollo del ambiente virtual debe simular materiales y reflejos realistas de acuerdo con técnicas artísticas basadas en pipeline de trabajo PBR. De igual forma, la solución debe contar con iluminación dinámica que permita el control de sombras en tiempo real, generando la capacidad de hacer modificaciones rápidas al ejecutable. El motor gráfico presentado por el contratista para el desarrollo de la

herramienta de simulación en realidad virtual descrita en la especificación técnica debe contar herramientas para facilitar el prototipado de niveles y mecánicas con soporte directo de los desarrolladores del motor gráfico, las cuales deben incluir herramientas para modelado, rigging, y texturizado de modelos dentro del propio motor de manera nativa.

En búsqueda de mayor realismo, el contratista debe implementar técnicas de escaneo 3D y fotogrametría con equipos especializados con características como las descritas en la especificación técnica. Todos los elementos desarrollados bajo estas técnicas deben ser optimizados para cumplir con los requerimientos de rendimiento de base y deberán ser desarrollados siguiendo el flujo de trabajo descrito según su clasificación (objetos pequeños, medianos a grandes y escenarios)

OBJETOS

Cantidad: 100 Objetos

Los objetos en escena deberán contar con las siguientes características, garantizando los equipos necesarios para desarrollar dobles digitales de alto realismo. Si bien el contratista debe contar con los equipos descritos para desarrollar los dobles digitales en esta especificación técnica, debe garantizar un equipo humano técnicamente competente para optimizar los elementos de acuerdo con el objetivo de desarrollo de entre 60 y 90 FPS.

- Semejanza con el objeto real: Resolución 3D de 0,1mm con precisión de puntos 3D de 0,05mm logrado con scanner de alta precisión.
- Mapa de texturas: Optimizado con mapa difuso, especularidad, normales
- Tamaño de los mapas: 4096x4096 (4K)
- Iluminación: dinámica con optimización de sombras
- Optimización de modelo: hasta un máximo de 5.000 triángulos dependiendo de la relevancia del objeto en escena.
- Flujo de trabajo: Escaneo 3D, optimización de contenido 3D e implementación en motor gráfico.

CARACTERÍSTICAS DE LOS OBJETOS

Los objetos en escena y de los cuales se crearán dobles digitales corresponden entre otros a objetos tales como:

- Uniformes tanto históricos como modernos, y sus elementos constitutivos como: botas, pacas de identificación, camisas, pantalones etc, los cuales serán proveídos por la entidad para su escaneo.
- Objetos interactuables, necesarios para la narrativa a desarrollar tales como botiquines, cajas de herramientas, motores de las aeronaves implicadas en la narrativa.
- Herramientas varias del ámbito aeronáutico como brujlas, mapas, llaves, sensores, entre otros.

PERSONAJES

Los personajes/NPC (bípedos y cuadrúpedos) en escena deberán contar con las siguientes características, garantizando los equipos necesarios para desarrollar dobles digitales de alto realismo. Si bien el contratista debe contar con los equipos descritos para desarrollar los dobles digitales en esta especificación técnica, debe garantizar un equipo humano técnicamente competente para optimizar los elementos de acuerdo con el objetivo de desarrollo de 90FPS.

- Semejanza con el objeto real: Resolución 3D de 0,1mm con precisión de puntos 3D de 0,05mm logrado con scanner de alta precisión
- Mapa de texturas: Optimizado con mapa difuso, especularidad, normales
- Tamaño de los mapas: 4096x4096 (4K)
- Iluminación: dinámica con optimización de sombras
- Optimización de modelo: hasta un máximo de 30.000 triángulos dependiendo de la relevancia del objeto en escena.
- Flujo de trabajo: Escaneo 3D, optimización de contenido 3D, captura de movimiento, limpieza de keyframes e implementación en motor gráfico.
- La cantidad de personajes y su optimización están en función del rendimiento esperado de 90 FPS promedio
- Sistema de huesos preparado para realizar captura de movimiento con Precisión de la orientación 3D ± 1 grado por medio de 19 sensores 9-DoF con capturadores IMU.

CARACTERÍSTICAS DE LOS PERSONAJES

Los personajes en escena y los cuales podrán interactuar en algún momento con el visitante/jugador deberán contar con las siguientes características

Para la presente experiencia virtual multiusuario, dado que se simulará la operación normal de extinción de incendios y evacuaciones aeromédicas, los personajes en pantalla al mismo tiempo, reflejarán la cantidad de jugadores en simultanea, realizando labores relacionadas con la misión, por tanto esta cantidad sería de máximo (06) seis modelos de jugadores, dos (02) NPC´s como extras en la etapa pre-vuelo. cuyas animaciones podrían reducirse a caminar lejos del área de juego

Tengase además de presente que :

- Dependiendo del escenario y misión a desarrollar sería necesario que el visitante interactúe con en ocasiones un solo NPC (como en el momento del Debriefing o reporte post acción), dos NPC´s (como a la hora de realizar tareas pre operativas), o hasta cuatro, como cuando se realiza una operación de evacuación médica helicoportada cada uno ¨simulando¨ acciones normales de un miembro especifico de la tripulación.
- Podrá requerirse que algunos de los modelos creados sean utilizados como parte del escenario dando la impresión de actividad normal en un área operativa, en esta instancia no sería requerida la capacidad que estos sean interactuables para el visitante.
- Los personajes de acuerdo a la narrativa tendrán algunas líneas de texto que dirán en los momentos de interacción con el visitante, dichas líneas y sus audios serán proveídas por la entidad para su integración en la experiencia.

ESCENARIOS

Los escenarios a simular, y donde interactuarán los personajes y los elementos para tejer la narrativa, serán en primera instancia, un espacio tipo HUB, que recreará algunos de los elementos de un área operativa de una Unidad Militar Aérea, (rampa donde se podrá ver la aeronave a utilizar en la misión a desarrollar), el interior de la bahía de carga de la aeronave utilizada en la operación (para ambientar la realización de la operación), con la posibilidad que se dé la apariencia de vuelo con el paisaje móvil, y un salón donde se realizaría el debriefing (reporte post acción) de la misión realizada.

En primera instancia, el espacio tipo HUB donde se realizarán todas las actividades pre-vuelo de la experiencia, deberá contar con un espacio de simulación de máximo 20x20 mts, o unas dimensiones suficientes para cubrir las dimensiones de cualquiera de las dos aeronaves que serán utilizadas para la experiencia, (Cessna Caravan 208 y Black Hawk UH-60). El segundo escenario al tratarse de una cabina de aeronave, podría contar con un espacio de simulación de 5x5 mts de extensión de simulación. Por último el espacio para la reunión post acción sería el mismo espacio utilizado para las actividades pre-vuelo de 20x20 mts.

- **Características sugeridas de los equipos para escaneo de los escenarios y sus elementos**

Equipo requerido para escaneo 3D de objetos pequeños: Precisión de puntos 3D de 0.05mm, Resolución 3D hasta 0.1mm, distancia de funcionamiento entre 0.2 y 0.3 metros, campo de vista angular de 30x21 grados, capacidad de captura de textura con resolución de 1.3mp, colores 24bpp, velocidad de adquisición de datos de 1 mln puntos / seg, fuente de luz 3D LED azul, Fuente de luz 2D matriz de 6 LED blanco.

Equipo requerido para escaneo 3D de objetos medianos a grandes: Resolución 0.05mm, precisión 3D hasta 0.1mm, resolución de textura 2.3mp, colores 24bbp, fuente de luz VCSEL, Distancia de trabajo, 0.35 a 1.2 metros, frecuencia de escaneo 80 fps, velocidad de obtención de datos 4.000.000 puntos/s, sensores de posición integrados 9DoF sistema inercial, pantalla táctil de 5.5", procesador nvidia integrado, WiFI, ethernet y SD card.

La Entidad se permite aclarar que estas referencias serán tomadas como las mínimas exigidas, en caso que el oferente cuente con un sistema con prestaciones superiores, el ofrecimiento del mismo no deben constituir un costo superior para la entidad

Se reitera que esta especificación es el mínimo exigido y con la única condición que los sistemas a utilizar garanticen la integridad y operatividad de los mismos.

Equipo requerido para fotogrametría para escenarios: GSD de 0.46cm/px a 30m, precisión relativa de planimetría de 0.92cm, ancho de imagen 8.000px, altura de imagen 6.000px, ancho y altura de sensor 6.4mmx4.9mm, imágenes de 48MP a 1fps, vuelo autónomo, plan de vuelo de fotogrametría, detección de obstáculos a 30m, conectividad 4G.

NOTA: Estos equipos son sugeridos para la elaboración de la experiencia interactiva; sin embargo, NO son susceptibles de ser adquiridos por parte de la Institución.

1. Obligaciones Específicas del Contratista en el software

- Verificar de manera previa que las especificaciones de los componentes de hardware (procesador, GPU, memoria) cumplen con los requisitos mínimos de arquitectura del entorno virtual.

- Realizar con el acompañamiento del supervisor del contrato, las pruebas de funcionamiento y estrés de los sistemas de hardware y software al igual que su interoperabilidad, previo a la suscripción del Acta de Recibido a Satisfacción.

- Asumir el costo y la ejecución de los ajustes de optimización de software necesarios para corregir fallos de rendimiento (*lags*, caídas de *frames* o descalibración de periféricos).

- Garantizar que los objetos resultados del escaneo de escenarios y sus elementos guarden la correcta imagen de la Institución, y hacer uso de estas únicamente para este contrato.

- Presentar certificación en el acta de inicio, en donde aclare el motor gráfico de su elección para la implementación y cumplimiento del objeto del proceso, al igual que el listado de componentes nativos con el que desarrollará su propuesta en las áreas de modelado, animación, rigging, partículas, iluminación y optimización de geometrías.

- El software a adquirir deberá contar con plena operabilidad desplegada desde el Laptop controlador a adquirir, con comunicación y funcionamiento por medio del router, que retransmitirá la información en sincronía a los cascos de realidad virtual.

- Garantizar que el ambiente de realidad virtual sea 100% compatible con el hardware descrito en la presente ficha técnica, avalando el correcto desempeño de la Experiencia Virtual, que incluya, pero no se limite a lo siguiente:

1. Servicios Incluidos

El contratista realizará la instalación, configuración, calibración, pruebas de estrés y puesta en marcha del ambiente de realidad virtual, durante la ejecución del contrato, sobre el hardware adquirido y verificando la óptima tasa de refresco, latencia y rendimiento gráfico exigidos para la simulación.

2. Soporte Técnico y Garantía Técnica

- **Garantía Técnica:** El contratista otorgará una garantía técnica integral mínima de doce (12) meses para el software/ambiente de realidad virtual, hardware operador (laptop controlador, router y gafas de realidad virtual) contados a partir de la firma del acta de recibo a satisfacción, cubriendo la corrección de errores y fallos de compatibilidad con el hardware, así como defectos de fábrica que se evidencien en el hardware.

- **Soporte Técnico:** Se dispondrá de un canal de soporte técnico con un acuerdo de niveles de servicio que garantice atención oportuna (no mayor a seis horas en caso de tratarse de apoyo remoto, y tres días hábiles para apoyo en sitio) ante incidentes en la ejecución del entorno virtual.

- Idoneidad del personal a intervenir en la configuración e implementación de la experiencia:

Mínimo un (01) profesional que cuente con lo siguiente:

  - Formación académica: Título profesional universitario en Ingeniería de Sistemas, Ingeniería de Software, Ciencias de la Computación o afines, otorgado por una Institución de Educación Superior (IES) reconocida y con registro calificado ante el Ministerio de Educación Nacional de Colombia.
  - En caso de títulos obtenidos en el exterior, deberán presentarse debidamente convalidados ante el Ministerio de Educación Nacional de Colombia, apostillados o legalizados según corresponda, y acompañados de su traducción oficial al idioma castellano conforme a la normativa vigente.
  - Matrícula profesional o tarjeta profesional vigente, junto con el certificado de vigencia expedido por el consejo profesional competente (cuando aplique por disposición legal).
  - **Experiencia específica:** Experiencia profesional acreditada mínima de un (1) un año en:
    - Modelado 3D. y/o
    - Programación, diseño y/o codificación de plataformas tecnológicas y desarrollo de software.

- **Soporte documental:** Copia del diploma o acta de grado, certificación de matrícula profesional vigente y certificaciones laborales o de contratos ejecutados que detallen el objeto, actividades desarrolladas, cargo y fechas de inicio y terminación.
- En adición a los demás técnicos o auxiliares que la ejecución del contrato demande, los cuales el contratista deberá allegar el listado del personal para la autorización de ingreso a las instalaciones del Museo Aeroespacial, documentos que deberán ser adjuntados a la suscripción del acta de inicio.

3. Transferencia de Conocimiento

El contratista deberá diseñar e impartir una jornada única de transferencia de conocimiento teórica y práctica (mínimo de 8 horas) dirigida al personal técnico y operativo que la Institución designe, dentro del plazo de ejecución del contrato. Esta transferencia de conocimiento deberá cubrir la administración de la plataforma, calibración del hardware asociado, resolución de problemas de primer nivel y la correcta operación del entorno de realidad virtual, previa coordinación con el supervisor de contrato.

4. Entregables Obligatorios

El contratista formalizará la entrega del software que sustenta la experiencia mediante el suministro de:

1. Licenciamiento del ambiente de realidad virtual, código fuente y ejecutables de la solución optimizados para el hardware provisto, cuya propiedad intelectual y derechos de propiedad, serán transferidos a la Fuerza Aeroespacial Colombiana.
2. Manual de instalación, configuración y operación del entorno virtual.
3. Manual de usuario técnico y guía para la solución de fallos frecuentes.
4. Memorias y certificaciones de la jornada de transferencia de conocimiento (incluyendo listados de asistencia y material didáctico).
5. Compilado definitivo de la Experiencia Virtual.

HARDWARE

Casco de realidad virtual	
Cantidad	3 unidades
Procesador	Snapdragon XR2 Gen 2 o equivalente
Soporte inalámbrico	Wi-fi 7 ((802.11 a/b/g/n/ac/ax/be)
Bluetooth	5.3
Cámara MR	Visión externa con cámara x2 de por lo menos 32MP
	cámara con sensor de profundidad iToF x1
	4x cámaras de tracking de entorno
Pantalla	por lo menos 2.56 pulgadas x 2 tipo pancake
Resolución pantalla	2160x2160 (x2)
PPI	1200
Resolución de renderizado	1920x1920 (x2)
Tasa de refresco	90Hz
Campo de visión	105°

PPD	promedio de 20.6
Ajuste de distancia de pupila	58mm-72mm
Audio	Parlantes duales
	4 micrófonos con soporte de grabación espacial
Batería	5700 mAh
	Soporte QC 4.0 / PD 3.0
Controles físicos	x2
El casco debe incluir el espaciador para gafas, almohadilla para el rostro, cable USB-C y baterías para controles.	

Trackers para Sets de Realidad Virtual	
Cantidad	9 unidades
Dimensiones	Altura máxima 38.6mm / Ancho máximo 15.3mm
Conectividad	Inalámbrica de 2.4 GHz con protocolo propietario
Modos de tracking	Cuerpo completo, objetos
Posicionamiento y tracking	Acelerómetro, giroscopio, sensor geomagnético, sensor infrarrojo activo
Batería	capacidad superior a 210mAh con carga mediante USB/C
Batería adicional	Incluye 2 baterías externas adicionales con capacidad de montarse en la correa de soporte del casco.

01 Router	
Cantidad	1 unidad
Estándar de red	WiFi 6 (802.11ax), WiFi 7 (802.11be), IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac, IPv4, IPv6
Tasa de datos WiFi	2.4GHz BE: 4x4 (Tx/Rx) 4096 QAM 20/40MHz, up to 1376Mbps 5GHz BE: 4x4 (Tx/Rx) 4096 QAM 20/40/80/160MHz, up to 5764Mbp 6GHz BE: 4x4 (Tx/Rx) 4096 QAM 20/40/80/160/320MHz, up to 11529Mbp
Antenas	8 externas
Transmisión/recibidor	2.4GHz 4x4, 5GHz 4x4, 6GHz 4x4
Procesador	2.6GHz quad-core
Memoria	32+16 GB Flash y 4+4 GB RAM
Frecuencias de operación	2.4 GHz / 5 GHz / 6 GHz, 2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz
Puertos	1 x 10Gbps for WAN/LAN 1 x 2.5Gbps for WAN/LAN 1 x 10Gbps for LAN 3 x 2.5Gbps for LAN 1 x RJ45 10/100/1000Mbps for LAN 1 x USB 3.2 Gen1 1 x USB 2.0
Energía	AC Input: 110V~240V(50~60Hz) DC Output: 12 V with max. 5 A current

Peso	Inferior a 200g
WAN	Internet Connection Type : Automatic IP, Static IP, PPPoE, PPTP, L2TP Internet Connection Type : Internet Connection Type : Internet Connection Type : • PPPoE Internet Connection Type : • PPTP Internet Connection Type : • L2TP Internet Connection Type : • Automatic IP Internet Connection Type : • Static IP Internet Connection Type : • IPSec Dual WAN 3G / 4G LTE Dongle 4G / 5G Auto Mobile Tethering Port Forwarding • Maximum Port Forwarding Rule : 64 Port Triggering • Maximum Port Triggering Rule : 32 DMZ DDNS NAT Passthrough : PPTP, L2TP, IPSec, RTSP, H.323, SIP Passthrough,PPPoE relay
LAN	DHCP Server IPTV LAN Link Aggregation Manually Assign IP Address • Maximum Manually Assign IP Address Rule: 128 Wake on LAN (WOL) VLAN
Inalámbrico	MU-MIMO UTF-8 SSID WiFi MAC Address Filter Maximum MAC Filters: 64 Wireless Scheduler Wi-Fi Radar Airtime Fairness RADIUS Client Universal Beamforming Explicit Beamforming

1 portátil Controlador

- Bluetooth 5.3
- SSD 1TB
- Teclado físico
- Pantalla 14”
- Resolución de pantalla 1920x1200 o superior
- Modo de pantalla WUXGA
- Tipo de display OLED
- RAM 16GB
- Procesador Ryzen 7 8840HS o equivalente
- Wifi 6E

1. Obligaciones Específicas del Contratista en el hardware

- En caso de presentarse alguna novedad atribuible a fallas en el hardware utilizado, que surjan durante y/o con un (1) año posterior al plazo de ejecución y recibido a satisfacción, el contratista

debe realizar las correcciones del caso y dejar en excelente estado de funcionamiento la experiencia, sin perjuicio de las demás garantías exigidas.

CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA:

Es de aclarar que la totalidad de los implementos del HARDWARE a adquirir deben ser probados en sitio por el contratista, y recibidos a satisfacción por la supervisión, garantizando la perfecta interoperabilidad y compatibilidad entre el SOFTWARE y los anteriormente mencionados elementos del HARDWARE.

TC YESID HEBERTO PEÑA ORTIZ	MY. JUAN CAMILO CUECHA LÓPEZ
Gerente del Proyecto	**Comité Estructurador Técnico**

Borrador de Cronograma General de Ejecución

El siguiente cronograma se concibe como una herramienta de guía, pues esta tendrá que ser concordada en su especificidad, de acuerdo con las capacidades a desplegar por el contratista para el cumplimiento del contrato, pero que a fin de cuentas y a grandes rasgos ha de cumplir con estas líneas. Para el efecto tendrá que ser adjunto el cronograma definitivo firmado por el supervisor del contrato y Representante Legal del Contratista al Acta de Inicio del contrato.

Fase 1: Alistamiento, Escaneo 3D y Captura de Datos

Reunión de inicio, revisión del plan de trabajo y entrega del guion narrativo de la misión por parte del supervisor del contrato.

- Certificación e instalación en el sitio del enrutador (Router WiFi 6/7) y el portátil controlador para establecer la red local de pruebas.

- Ejecución de jornadas de escaneo 3D de objetos pequeños (precisión 0.05 mm, luz LED azul).
    - Ejecución de jornadas de escaneo 3D de objetos medianos a grandes (resolución 0.05 mm, fuente VCSEL) en hangares y rampas.

- Levantamiento fotogramétrico de escenarios.
    - Sesiones de captura de movimiento (MoCap) para los personajes/NPC

Fase 2: Modelado, Optimización 3D y Desarrollo de Software

- Procesamiento de nubes de puntos y limpieza de keyframes obtenidos en la captura de movimiento.
    - Optimización geométrica de objetos (máximo 5.000 triángulos por objeto relevante).
    - Optimización geométrica de personajes/NPC (máximo 30.000 triángulos).

- Generación de mapas de texturas optimizados en resolución 4K (difuso, especularidad, normales).
    - Configuración de dobles digitales y materiales bajo el pipeline gráfico PBR (Physically Based Rendering) para lograr reflejos y texturas realistas.

- Programación lógica de la misión interactiva en el motor gráfico seleccionado
    - Configuración de la experiencia multiusuario simultánea (4 a 6 usuarios) y parametrización del tiempo de misión (configurable entre 5 y 10 minutos).
    - Implementación de iluminación dinámica con optimización de sombras en tiempo real.

Fase 3: Integración de Hardware y Pruebas de Rendimiento (QA)

Acoplamiento físico y digital para asegurar que el software corra sobre la infraestructura técnica provista de acuerdo con el hardware descrito.

- Ensamblaje y configuración de los cascos de realidad virtual
    - Sincronización inalámbrica de los cascos vía Wi-Fi 7 y calibración de los trackers corporales/objetos mediante protocolo de 2.4 GHz.

- Pruebas de estrés y optimización de memoria manual en el motor para evitar fluctuaciones de frames.

- Auditorías de rendimiento técnico en las estaciones VR para validar que la experiencia mantenga un promedio superior a los 90 FPS estables.

Fase 4: Pruebas de Aceptación, Entrega y Cierre

Fase institucional de validación final ante la supervisión del contrato.

- Despliegue final en el Museo Aeroespacial.
    - Pruebas de funcionamiento interactivo in situ con usuarios de prueba (validación de interfaces intuitivas e introducción de objetivos).
    - Comprobación de interoperabilidad total entre hardware y software.

- Entrega formal del código fuente y la aplicación compilada como respaldo para la entidad.
    - Entrega de cartas de respaldo del fabricante para la gestión de garantías de los cascos VR.
    - Firma del acta de recibo a satisfacción por parte de la supervisión del contrato.

Resumen de actividades

Fase	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4
F1: Escaneo e Insumos	✓			
F2: Desarrollo y PBR		✓	✓	
F3: Integración y 90 FPS			✓	✓
F4: Pruebas y Cierre				✓

Este cronograma podrá ajustarse de común acuerdo el contratista y el supervisor de contrato en caso de necesitarse modificaciones por mejoras en el diseño, rendimiento o experiencia de usuario, así como en posibles demoras en tiempos de importación de componentes.

TC YESID HEBERTO PEÑA ORTIZ
Gerente del Proyecto

MY. JUAN CAMILO CUECHA LÓPEZ
Comité Estructurador Técnico

|