



ERGONOMÍA Y ASIENTOS DE AVIÓN: UN ESTUDIO DE CONFORT Y BIENESTAR PARA EL USUARIO

Ana Carolina Russo^{1*}

Edison Russo²

Carolina Machado Silberschmidt³

Giuliana Mendes Montini⁴

Juliana Blasbalg⁵

Resumen

En el siglo XXI, los pasajeros de clase económica en vuelos comerciales todavía han mostrado descontento con los asientos ofrecidos por las aerolíneas. Por esta razón, este trabajo tuvo como objetivo realizar un análisis ergonómico de un modelo estándar de asiento de avión, con el fin de verificar sus potenciales puntos de mejora, y así, proponer un nuevo modelo que esté dentro de los estándares recomendados por la ergonomía. Las simulaciones se realizaron utilizando el software CATIA Ergonomics For Car Design, que utiliza el método RULA para generar una evaluación ergonómica. Las simulaciones se aplicaron a seis maniquíes digitales de cinco nacionalidades diferentes, a saber, alemanes, americanos, franceses, indios y japoneses, de ambos sexos, con las dimensiones medias de cada una de las poblaciones estudiadas. De esta manera, fue posible cubrir a una mayor parte de la población mundial dentro de los recursos disponibles por el software. Los resultados de las simulaciones señalaron que el principal factor desencadenante de la incomodidad en los pasajeros fue la anchura del asiento, que tenía unas dimensiones inferiores a las adecuadas, lo que provocaba que los usuarios tuvieran que encogerse para acomodarse en los asientos. Este factor sirvió de base para la creación y construcción del nuevo modelo de sillón, que posteriormente se diseñó utilizando el software CATIA V6 y 3D Experience. Con el fin de no reducir el número de asientos dentro de la aeronave, la disposición de los asientos dentro del avión se cambió mediante cálculos geométricos aplicando el Teorema de Pitágoras y el Teorema de la Similitud del Triángulo, con el fin de determinar cuánto se podían cambiar las dimensiones. Las modificaciones realizadas en el asiento analizado dieron como resultado mejoras ergonómicas para todos los maniquíes sometidos a las pruebas, proporcionándoles mayor comodidad y seguridad durante los viajes cortos y largos.

Palabras clave: Ergonomía en aeronaves, Asiento de avión, Simulación ergonómica, Método RULA, Diseño de asientos.

ERGONOMICS AND AIRPLANE SEATS: A STUDY OF USER COMFORT AND WELL-BEING

¹Escola Superior de Engenharia e Gestão – ESEG.*ana.russo@eseg.edu.br.

²Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas – FMU.

³Centro Universitário, Instituto Mauá de Tecnologia – IMT.

⁴Centro Universitário, Instituto Mauá de Tecnologia – IMT.

⁵Centro Universitário, Instituto Mauá de Tecnologia – IMT.



Abstract

In the 21st century, passengers in the economy class of commercial flights have still shown displeasure with the seats offered by airlines. For this reason, this work aimed to perform an ergonomic analysis in a standard airplane seat model, in order to verify its potential points of improvement, and thus propose a new model that is within the standards recommended by ergonomics. Simulations were performed in the CATIA Ergonomics For Car Design software, which uses the RULA method to generate an ergonomic evaluation. The simulations were applied to six digital mannequins of five different nationalities, including German, American, French, Indian and Japanese, of both sexes, with the average dimensions of each of the populations studied. In this way, it was possible to cover a majority of the world's population with the resources available through the software. The results of the simulations indicated that the main triggering factor of discomfort in the passengers was the width of the armchair, which had smaller dimensions than the appropriate ones, causing users to have to shrink to accommodate the seats. This factor served as the basis for the creation and construction of the new armchair model that was later designed using the CATIA V6 and 3D Experience software. In order not to reduce the number of seats inside the aircraft, the arrangement of the seats inside the aircraft was changed using geometric calculations by applying the Pythagorean theorem and the Triangle Similarity, to determine how much the dimensions could be changed. The modifications made to the chair analyzed resulted in ergonomic improvements for all mannequins submitted to the tests providing the same greater comfort and safety during short and long trips.

Keywords: Ergonomy in aircraft. Airplane seat. Ergonomic simulation. RULA method. Seat design.

1. INTRODUCCIÓN

Según una investigación publicada en The New York Times en 2016 (Rosenbloom, 2016), una de cada veinte personas tiene razón al quejarse de la extrema incomodidad que causan los asientos de avión de clase económica. El estudio señala el hecho de que los asientos de los aviones no se ajustan a la anatomía humana, lo que puede traer una serie de daños al usuario, como dolor de espalda, columna vertebral, cuello y problemas de mala postura. Los asientos han sido un desafío persistente para nuestros clientes", dijo Shemm, vicepresidente de finanzas y operaciones de Boeing Commercial Airplanes (Vinhos, 2018).

Junto con el deseo de proporcionar asientos cómodos para sus pasajeros, las aerolíneas luchan constantemente contra el problema del exceso de peso dentro de los aviones. De acuerdo con un informe realizado en 2018 por el Blog Todos a Bordo (Casagrande, 2018), la aerolínea United Airlines reportó un ahorro de 3,2 millones de dólares en combustible al año, solo por reducir el peso de algunos productos que solía llevar a bordo, como sábanas más delgadas en revistas y reducción de algunas bebidas. Por lo tanto, reducir el peso de los asientos del avión



supondría una gran reducción del peso total de la aeronave, lo que supondría una gran ventaja económica para la aerolínea.

Otro factor a analizar es el limitado espacio disponible dentro de los aviones, lo que hace que una de las mayores preocupaciones de las aerolíneas sea destinar el mayor número de personas en un mismo vuelo. Así, con el fin de transportar el máximo número de pasajeros por viaje, las aerolíneas han ido reduciendo significativamente los espacios entre asientos, dejando de lado la comodidad y el bienestar de quienes utilizan los asientos.

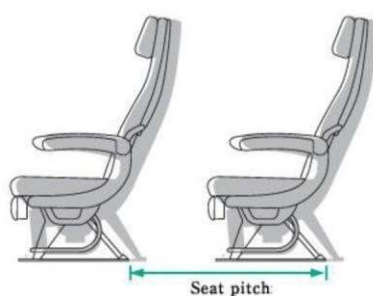
Como consecuencia de que las aerolíneas han dejado en un segundo plano la comodidad de sus pasajeros, se ha producido un gran aumento en el número de reclamaciones relacionadas con los asientos. Este aumento llevó a la Agencia Nacional de Aviación Civil (ANAC) a crear en 2010 la Etiqueta ANAC, que tiene como objetivo informar a los pasajeros al momento de la compra del boleto de las características del asiento que se brindará en clase económica, tanto para vuelos nacionales como internacionales (Agencia Nacional de Aviación Civil, 2009). El cumplimiento de la etiqueta es obligatorio para las aerolíneas regidas por el Reglamento Brasileño de Homologación Aeronáutica 121 (RBHA 121) que tienen aeronaves con un peso máximo de despegue superior a 5.700 kg y un número de asientos superior a 20 (DAC, 2005).

La etiqueta informa de la distancia mínima entre un asiento y otro, como se muestra en la Figura 1, medida desde un punto de 75 mm por encima de la *distancia entre asientos* y la clasifica en cinco categorías (siendo la "A" la mejor y la "E" la peor):

- "A": espacio mínimo utilizable entre asientos superior a 73 cm.
- "B": espacio mínimo utilizable entre asientos inferior o igual a 73 cm y superior a 71 cm.
- "C": espacio mínimo utilizable entre asientos inferior o igual a 71 cm y superior a 69 cm.
- "D": espacio mínimo utilizable entre asientos menores o iguales a 69 cm y mayores de 67 cm.
- "E": espacio mínimo utilizable entre asientos menor o igual a 67 cm.



Figura 1 - Representación de la distancia entre asientos



Fuente: (SKYTRAX, s.f.)

La Figura 2 a continuación, fotografiada en julio de 2018, muestra una distancia entre asientos de los asientos de un vuelo comercial de LATAM Airlines calificado como "D" (espacio mínimo utilizable entre asientos menor o igual a 69 cm y mayor a 67 cm). Como se puede observar en la imagen, las piernas del pasajero, en esta situación, tocan el asiento de delante, ratificando la importancia de un estudio ergonómico en los asientos del avión para adaptarlos a las necesidades de todos los pasajeros y proporcionarles un vuelo seguro y cómodo.

Figura 2 - Asiento del vuelo comercial de LATAM



Fuente: (AUTORES, 2018).

De esta forma, con el objetivo de mejorar la calidad de los vuelos en clase turista, sin aumentar el peso que transporta el avión, reduciendo el número de asientos en el mismo y respetando las normas de seguridad preestablecidas; Se realizó un estudio ergonómico, utilizando el método RULA (RAPID UPPER LIMB ASSESSMENT), en busca de un sillón adecuado a la anatomía humana y que, en ser posible, pueda aportar beneficios económicos y competitivos a la aerolínea.

Mcatamney y Corlett (1993) fueron los responsables del desarrollo del método RULA, cuyo objetivo principal fue proponer una evaluación de la exposición de los trabajadores a



factores de riesgo relacionados con trastornos musculoesqueléticos en la actividad realizada (Dombidau Junnior et al., 2017; Mateus Junior, 2009; Shida y Bento, 2012).

De acuerdo con Shida y Bento (2012), la aplicación del método comienza con la observación de la actividad, durante unos ciclos de trabajo, con el fin de identificar las posturas más relevantes para realizar el análisis. A través de diagramas de postura corporal y tablas de puntuación (Iida y Buarque, 2016), es posible evaluar la exposición del trabajador a factores de riesgo. Estos riesgos se denominan factores de carga externos, a saber, (Dombidau Junnior et al., 2017): Número de movimientos; Trabajo muscular estático; Fuerza; Posturas de trabajo; Jornada de trabajo sin descanso.

El método RULA, por lo tanto, propone la determinación de la necesidad de intervención o investigaciones posteriores realizadas por expertos, relacionadas con las posturas que involucran el cuello y las extremidades superiores de los trabajadores durante su actividad y sus riesgos observados.

2. METODOLOGÍA

2.1. Estudio de mercado

Para comprender mejor la intensidad del problema abordado en este estudio, fue necesario determinar los principales factores que interfieren en el malestar experimentado por los pasajeros durante los viajes aéreos. Así, se llevó a cabo una investigación de mercado.

La investigación de mercado se realizó utilizando la herramienta Google Docs1 e Forms distribuida al público objetivo a través de las redes sociales, incluyendo Facebook y WhatsApp, durante un periodo de 4 meses en el que se obtuvieron 442 respuestas.

A la hora de construir un cuestionario, es necesario seguir los siguientes pasos (Iida y Buarque, 2016): Establecer los objetivos de la investigación, con el fin de definir qué se espera obtener de ella; Definir el método más adecuado para recoger cada tipo de información, ya sean de opción múltiple, escalas de evaluación o preguntas de ensayo; Definir quién es la población objetivo; Definir el grado de precisión deseado en el trabajo para determinar el tamaño de muestra elegido

Así, para este trabajo, el cuestionario de investigación tuvo los siguientes objetivos:

- a) demostrar interés en la solución de la obra;
- b) definir las principales molestias experimentadas durante los viajes aéreos;



- c) establecer una relación entre las características fisiológicas de los pasajeros y las molestias que experimentan;

Una vez definidos los objetivos, la investigación de mercado se dividió en 3 partes. La primera parte pretendía restringir las respuestas al público objetivo, de modo que solo se consideraran las respuestas de las personas que ya habían viajado en avión. Esta etapa consistía en una pregunta de opción múltiple, en la que el usuario podía elegir entre solo dos respuestas, "sí" (he viajado en avión) o "no" (nunca he viajado en avión).

En una segunda parte de la investigación, se evaluaron las características fisiológicas de los usuarios de asientos de avión. Entre estas características: la edad, el sexo, el peso y la altura del pasajero.

La definición del género se estableció a través de una pregunta de opción múltiple, con el fin de evitar inconsistencias en los datos. Las opciones de respuesta a estas preguntas fueron: "femenino", "masculino" y "otro". Se agregó el "otro" campo para adaptarse a los nuevos estándares de la sociedad, permitiendo la libertad de expresión.

Para definir los rangos de edad de los usuarios, se estudió cómo cambia la fisionomía humana según los años vividos, y se establecieron grupos de edad en los que el cuerpo humano no sufre grandes cambios, en forma de opción múltiple. Así, las respuestas podrían ser: "hasta 13 años", "de 14 a 30 años", "de 31 a 50 años" y "más de 50 años".

Para determinar el peso de los usuarios, se establecieron rangos de peso con el fin de evitar vergüenzas y respuestas falsas. La pregunta, también en formato de opción múltiple, permitía al usuario elegir entre 5 alternativas, a saber: "Menos de 50 kgs", "De 51 a 65 kgs", "De 65 a 75 kgs", "De 75 a 85 kgs" y "Más de 85 kgs". Estos rangos de peso se eligieron con el fin de comprobar si los vuelos son más incómodos para los de mayor peso.

Luego, para determinar la altura de los usuarios, se utilizó el mismo método de pregunta mencionado anteriormente. Entre las respuestas, los participantes pudieron elegir entre 6 opciones: "Menos de 1,50 m", "Entre 1,50 y 1,60 m", "Entre 1,61 y 1,70 m", "Entre 1,71 y 1,80 m", "Entre 1,81 y 1,90 m" y "Más de 1,90 m". El objetivo de esta pregunta era determinar si, además de su peso, la altura del usuario también influye en el nivel de malestar que siente durante los viajes aéreos.

Después de determinar la fisiología de los participantes de la investigación de mercado, se hacen preguntas directamente relacionadas con el tema principal del trabajo, que son las molestias que sienten los pasajeros.



En esta tercera parte de la encuesta, primero se preguntó a los usuarios cuáles eran las principales molestias que encontraban durante sus viajes. Con el fin de no inducirlos a una respuesta deseada, esta pregunta también incluía respuestas que no estaban relacionadas con el malestar físico, sino con otros tipos de malestar. El público objetivo podría marcar 2 alternativas, entre las 6 propuestas, a saber: "Precio de los billetes aéreos", "Largas colas de espera para *el check-in* y el embarque", "Asiento incómodo y poco espacioso", "Límite de peso para el equipaje", "Servicio a bordo" y "Poco espacio para el equipaje de mano". Con esta pregunta se pretendía demostrar el interés por la solución de la obra.

Las siguientes preguntas se volvieron cada vez más específicas. Las siguientes dos preguntas tuvieron como objetivo identificar si el tiempo dedicado al viaje era un factor que influía en la maximización del dolor y el malestar en cuestión. La primera pregunta se refería a los viajes cortos de hasta 3 horas y la segunda a los viajes largos (más de 3 horas) y, para cada pregunta, se preguntaba si los pasajeros suelen sentir dolor después de los vuelos. Se permitían 3 respuestas: "sí", "no" y "a veces".

Si alguna de las dos preguntas anteriores había sido respondida con un "sí" o "a veces", el usuario recibía otra pregunta, en la que podía marcar las partes del cuerpo en las que se sentía el dolor, a saber: "Cuello", "Piernas", "Espalda", "Columna vertebral", "Brazos" y "Otros". El encuestado podía marcar tantas opciones como quisiera y, si marcaba el campo "otros", se le permitía escribir la otra parte del cuerpo con dolor. De esta manera, el campo de las respuestas se amplió y la capacidad de los usuarios para expresarse.

Las dos últimas preguntas de la investigación de campo fueron específicas a la problemática presentada en este trabajo y tuvieron como objetivo demostrar el interés en la solución del trabajo, además de definir las principales molestias experimentadas durante los viajes aéreos. Una de estas preguntas permitió al usuario evaluar del 1 al 5 el grado de satisfacción que estaba con los asientos ofrecidos por las aerolíneas, siendo 1 "muy insatisfecho" y 5 "muy satisfecho".

La última pregunta de la investigación de mercado permitió al usuario evaluar del 1 al 5 el nivel de incomodidad debido a cada situación presentada, a saber: "Pequeño espacio entre su asiento y el que está frente a usted", "Poco inclinación de la silla", "Dureza de los asientos" y "Pequeño espacio en los reposabrazos de las sillas". Para esta pregunta, los usuarios consideraron 1 como "No me molesta" y 5 como "Extremadamente molesto".

Antes de que la investigación se diera a conocer al público objetivo, se probó con un grupo más pequeño de personas, incluidos maestros, amigos cercanos y familiares. Después de



la prueba, fue posible mejorar y corregir algunos aspectos de la encuesta, con el fin de hacerla más clara a quienes la respondieron.

Para que las respuestas a un cuestionario sean valiosas y fiables, primero es necesario calcular el tamaño de la muestra. Para ello, se utiliza el tamaño de la población, el margen de error, el nivel de confianza y el valor porcentual, de acuerdo con la Ecuación 1:

$$\frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N} \right)}$$

Ecuación 1

Dónde:

N: Tamaño de la población

e: Margen de error (valor decimal) z: Nivel de confianza (valor z)

p: Valor porcentual (valor decimal)

Para determinar el tamaño de la muestra necesaria en esta encuesta, se calculó, de acuerdo con el nivel de incertidumbre deseado, cuál sería el número de personas que tendrían que responder la encuesta para que ésta adquiriera validez.

Después de determinar el tamaño de la muestra, el cuestionario se compartió en grupos en redes sociales, como Facebook y WhatsApp.

2.2. Simulación RULA

El método RULA (Rapid Upper-Limb Assessment) evalúa el trabajo muscular estático y las fuerzas ejercidas por los segmentos corporales y, como resultado, indica el nivel de acción en el que encaja el movimiento. El nivel 1 indica que la postura es aceptable y que no es necesario realizar investigaciones. En el nivel 2, se necesitan investigaciones a mediano plazo. En el nivel 3, es necesario investigar y tomar medidas a corto plazo. En el último nivel, el nivel 4, es necesario investigar y tomar medidas inmediatas (Iida y Buarque, 2016; McAtamney y Corlett, 2016).

Con el fin de verificar la posibilidad de que los asientos de avión se suministren actualmente en las clases económicas, se llevaron a cabo simulaciones utilizando el software de Dassault Systèmes, llamado *3D Experience*. En este software, se utilizaron las siguientes

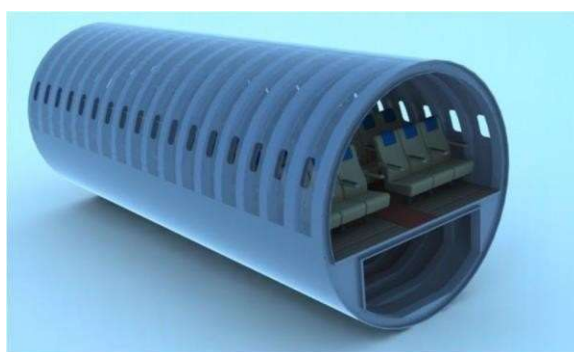


aplicaciones: CATIA Bent Part Design, CATIA Ergonomics for Car Design, CATIA Human Design y CATIA 3D Printing Preparation (Dassault Systèmes, s.f.).

Con el fin de mantener las condiciones de simulación más cercanas a las condiciones reales, se buscó un modelo de sillón similar al que se utiliza actualmente en las clases económicas en vuelos comerciales.

Utilizando GrabCAD Community, un sitio de intercambio de modelos 3D, se seleccionó el diseño de asiento 3D más similar al real, el asiento del AirBus A320. En Brasil, este asiento se utiliza en 168 aviones, que pertenecen a las empresas LATAM, Avianca, Brasil y Azul. El archivo del modelo 3D que representa el avión A320, fue puesto a disposición por un ingeniero llamado Ali Hechi, y tenía las siguientes medidas que se muestran en la Figura 3.

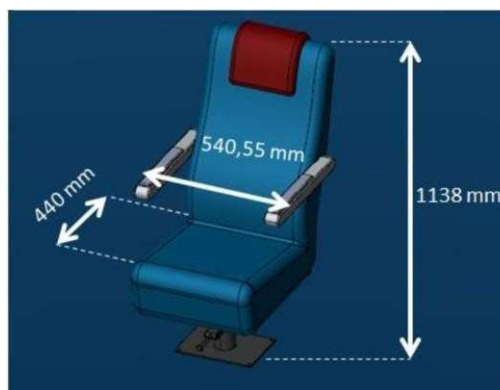
Figura 3 - Modelo 3D seleccionado para el análisis



Fuente: (ELHECHI, 2013)

Como se puede observar en la Figura 4 y Figura 5, se cambiaron los colores del asiento, con el fin de permitir una mejor visualización de sus partes y obtener un mayor contraste al tener un avatar posicionado sobre él.

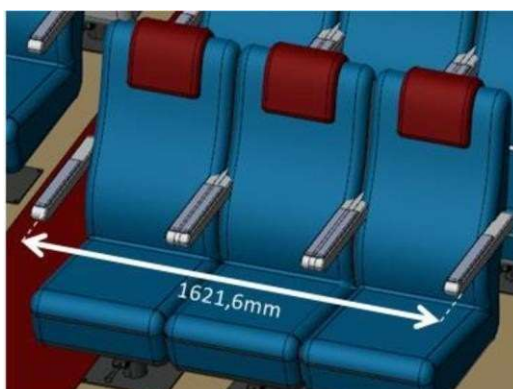
Figura 4 - Medidas del modelo de sillón estudiado



Fuente: (ELHECHI, 2013 modificado)



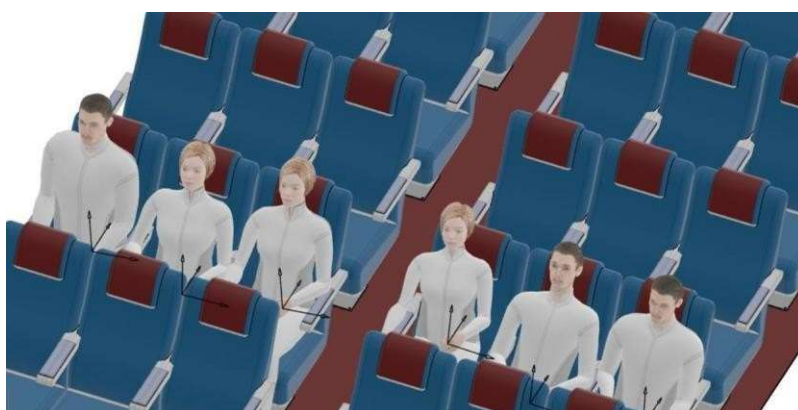
Figura 5 - Medida de una fila compuesta por 3 asientos



Fuente: (ELHECHI, 2013 modificado)

Después de seleccionar el modelo de asiento, se crearon los avatares de estudio. Con el uso de la herramienta CATIA Ergonomics for Car Design, se crearon seis avatares con características físicas distintas, como se ilustra en la Figura 6.

Figura 6 - Avatares seleccionados para el estudio



Fuente: (AUTORES, 2018)

Con el fin de llegar a la mayoría de la población con este estudio, cada avatar creado representaba una parte distinta de la población. La aplicación de la Experiencia 3D, CATIA Ergonomics for Car Design, permite a los usuarios elegir la nacionalidad de la representación humana creada, tal y como se indica en la Figura 7. Para este estudio, se utilizó el porcentaje del 95% de confianza en todos los avatares creados, con el objetivo de representar a la mayoría de la población.

El primer avatar creado (el primero a la izquierda en la Figura 6) fue diseñado para representar a la población masculina estadounidense. Su altura, especificada por el software CATIA Ergonomics for Car Design, era de 1,88 m y su peso era de 119,36 kg. Junto a él, el segundo avatar, representa la población femenina estadounidense, que mide 1,73 m y pesa



75,74 kg. A continuación, se creó un tercer avatar representativo de la población femenina de Francia, con un peso medio de 72,21 kg y una altura de 1,72 m

Al otro lado, a la derecha, del pasillo de la Figura 6, se crearon 3 avatares más. El primero de ellos fue creado para representar a la población masculina alemana, con un peso medio de 97,24 kg y una altura media de 1,85 m. A su lado, está sentado un representante de la población, también varón, japonés, de 79,35 kg de peso y 1,77 m. Por último, junto al representante japonés, se creó un avatar para representar a la población femenina de la India. Este último avatar fue creado con 63,75 kg y 1,61 m.

Figura 7 - Avatares en la creación



Fuente: (AUTORES, 2018)

Después de crear los avatares e importar el modelo de asientos de avión a CATIA, se utilizó la aplicación CATIA Ergonomics for Car Design para analizar y medir los problemas ergonómicos involucrados.

En primer lugar, los maniqués creados se colocaron correctamente en los asientos, como se muestra en la Figura 6.

El informe generado por la simulación, mediante el análisis RULA, permite analizar cómo cada miembro del cuerpo del maniquí se ve afectado por la posición en la que se encuentra, generando al final una puntuación del 1 al 9 que representa el nivel de acción a tomar, con opciones que van desde la aceptación, la investigación, el cambio futuro o el cambio inmediato de postura.

En este trabajo se optó por el análisis RULA estático, es decir, considerando que los pasajeros permanecen sentados en la misma posición durante los vuelos. Además, se consideró que los pasajeros no estarían sosteniendo ningún tipo de carga mientras estuvieran sentados y que sus brazos estarían apoyados en los apoyos laterales.



En la aplicación utilizada para generar el análisis RULA en cuestión, fue posible indicar si el pasajero apoyaba o no sus brazos, con el fin de generar resultados más confiables, como se indica en la Figura 8.

Figura 8 - Informe generado por el análisis RULA

Body Part	Score
Upper Arm	1
Forearms	3
Wrist	2
Wrist Twist	1
Posture A	3
Muscle	1
Force/Load	0
Wrist and Arm	4
Neck	1
Trunk	2
Leg	1
Posture B	2
Neck, Trunk and Leg	3

Final Score: 3
Investigate further

Fuente: (AUTORES, 2018)

2.3. Creación del nuevo modelo de asientos del avión y análisis de posibles cambios en la distribución interior de la aeronave

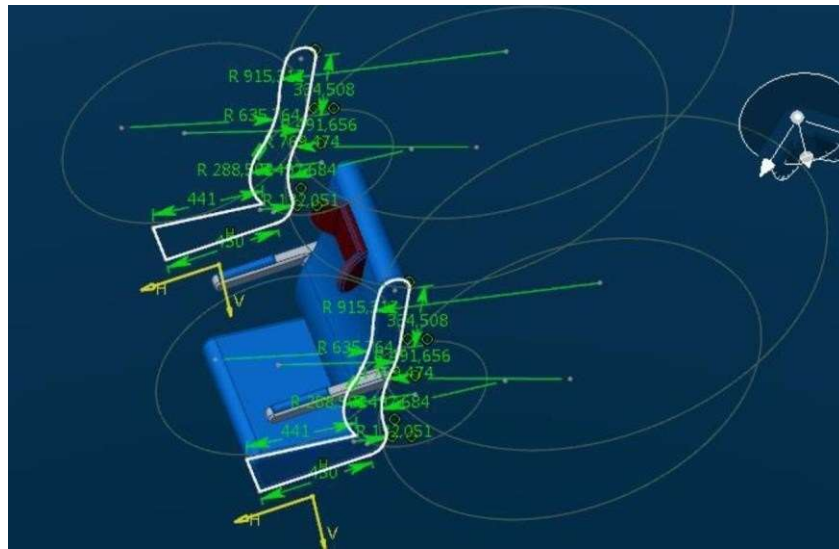
Después de realizar el análisis RULA para todos los maniquíes creados, fue posible percibir qué extremidades de sus cuerpos estaban sujetas a mayores molestias cuando estaban en la posición determinada por el asiento del avión A320.

A partir de los resultados del análisis ergonómico (que se presentarán en el próximo capítulo), se inició una investigación sobre los posibles cambios en el modelo de asientos existente, con el fin de mejorarlo y reducir la puntuación generada en los análisis RULA, haciendo que la posición de los pasajeros sea aceptable durante los viajes.

Para ello, se utilizó la aplicación de la Experiencia 3D denominada CATIA Part Design (Figura 9). Con el uso de esta herramienta, fue posible realizar cambios en aquellas partes del asiento que se creía que causaban mayor incomodidad a los pasajeros. Se aplicó un nuevo informe de análisis RULA a cada cambio para verificar si las partes alteradas realmente influyeron en la puntuación encontrada.



Figura 9 - Uso de la aplicación Part Design para la elaboración del nuevo modelo de sillón

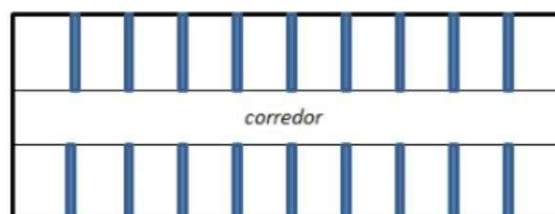


Fuente: (AUTORES, 2018)

Después de localizar las dimensiones (anchura, altura y longitud) del asiento que más impactaban en el malestar de los pasajeros y que, por tanto, había que cambiar, pensamos en cómo hacer dichos cambios sin cambiar también el número de asientos dentro del avión.

En este sentido, fue necesario modificar la disposición de los asientos generando una nueva distribución dentro del avión. En primer lugar, se midieron las dimensiones del asiento del avión existente y la *distancia entre asientos* utilizada en la disposición del avión A320. Luego, con el uso de técnicas de geometría, como el teorema de Pitágoras y el teorema de similitud del triángulo, fue posible determinar el espacio disponible para el cambio en las medidas de los asientos y así obtener sus nuevas dimensiones y la nueva disposición interna de la aeronave. La figura 10 representa la disposición de los asientos en el modelo actual del avión Airbus A320.

Figura 10 – Disposición actual del avión AIRBUS A320



Fuente: (AUTORES, 2018)

Además, como base para el estudio y el análisis ergonómico, también se utilizó la encuesta de Kroemer de medidas y dimensiones antropométricas realizada a 15.700 hombres y

17.700 mujeres en Alemania. Las comparaciones con otros estudios revelan que los datos obtenidos son bastante similares para ambos sexos en Suiza, Inglaterra, Estados Unidos y Francia. Los marcos relevantes para el proyecto que se utilizaron en la creación del asiento ideal se muestran en la Figura 11 y la Figura 12.

Figura 11 - Dimensiones antropométricas de la encuesta de Kroemer

Medidas (cm)	Mujer				Hombres			
	5%	50%	95%	D. P.	5%	50%	95%	D. P.
1 CUERPO DE PIE								
1.1 Estatura, cuerpo erecto	152,78	162,94	173,73	6.36	164,69	175,58	186,65	6.68
1.2 Altura de los ojos, de pie	141,52	151,61	162,13	6.25	152,82	163,39	174,29	6.57
1.3 Altura de los hombros, de pie	124,09	133,36	143,20	5,79	134,16	144,25	154,56	6.20
1.4 Altura del codo, de pie	92,63	99,79	107,40	4.48	99,52	107,25	115,28	4.81
1.5 Altura del centro de la mano, de pie	72,79	79,03	85,51	3.86	77,79	84,65	91,52	4,15
1.8 Profundidad del pecho	20,86	23,94	27,78	2.11	20,96	24,32	28,04	2.15
2 CUERPOS SENTADOS								
2.1 Altura de la cabeza, sentado, desde el asiento	79,53	85,20	91,02	3.49	85,45	91,39	97,19	3.56
2.2 Altura de los ojos desde el asiento	68,46	73,87	79,43	3.32	73,50	79,20	84,80	3.42
2.3 Altura de los hombros, sentado, por encima del asiento	50,91	55,55	60,36	2.86	54,85	59,78	64,63	2,96
2.4 Altura del codo por encima del asiento	17,57	22,05	26,44	2.68	18,41	23,06	27,37	2.72
2.6 Longitud de nalgas a rodillas, sentado	54,21	58,89	63,98	2,96	56,90	61,64	66,74	2,99
2.9 Longitud nalga-poplitea, sentado	44,00	48,17	52,77	2.66	45,81	50,04	54,55	2.66
2.11 Altura del muslo por encima del asiento	14,04	15,89	18,02	1.21	14,86	16,82	18,99	1.26
2.13 Ancho de cadera, sentado	34,25	38,45	43,22	2.72	32,87	36,68	41,16	2.52
3 CABEZAS								
3.2 Ancho de la cabeza	13.66	14.44	15.27	0,49	14.31	15,17	16.08	0,54
3.4 Distancia entre los ojos	5.66	6.23	6.85	0,36	5.88	6.47	7.10	0,37
3.5 Circunferencia de la cabeza	52,25	54,62	57,05	1.46	54,27	56,77	59,35	1.54
4 MANOS								
4.1 Longitud de la mano	16,50	18,05	19,69	0,97	17,87	19,38	21,06	0,98
4.4 Ancho de la palma	7,34	7,94	8,56	0,38	8,36	9,04	9,76	0,42
4.5 Circunferencia de la palma	17,25	18,62	20,03	0,85	19,85	21,38	23,03	0,97
5 PIES								
5.1 Longitud del pie	22.44	24.44	26.46	1.22	24,88	26,97	29.20	1.31
5.2 Ancho del pie	8,16	8,97	9,78	0,49	9,23	10,06	10,95	0,53
7 PESO (kg)	39.2	62.01	84.8 *	13,8*	57,7*	78,49	99.3 *	12,6*

Fuente: (Kroemer et al., 2000)



Figura 12 - Datos sobre las dimensiones antropométricas

Grandeza	Hombres (mm)		Mujeres (mm) 90%	
	promedio -	90%	promedio-	90%
Longitud de la pierna	450	420-480	430	400-460
Largo del muslo	500	460-540	460	430-500
Distancia entre el codo y la base del asiento	240	200-280	240	200-280
Longitud del antebrazo	470	430-510	420	380-460
Distancia entre el hombro y la base del asiento	590	540-640	540	490-590
Distancia entre la parte superior de la cabeza y la base del asiento	900	840-960	850	790-910
Largo de pierna hasta por encima de la rodilla	550	510-590	500	460-540
Ancho de hombros	435	--	412	--
Ancho de la pelvis	340	--	343	--

Fuente: (Kroemer et al., 2000)

A la vista de las dimensiones presentadas en las tablas anteriores, fue posible validar si las medidas del nuevo modelo de asiento de avión eran adecuadas a la anatomía del cuerpo humano.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Resultado de la investigación de mercado

Según datos del Anuario de Transporte Aéreo realizado por la Agencia Nacional de Aviación Civil (ANAC) en 2016, el número de pasajeros transportados en 2016 en vuelos domésticos en Brasil fue de 109,6 millones. Por lo tanto, este fue el valor utilizado como tamaño de la población para calcular el tamaño de la muestra.

El margen de error o error de muestreo representa la estimación máxima de errores en una encuesta. En este sentido, cuanto mayor sea la precisión requerida por la encuesta, menor será la tasa de error elegida para el cálculo del tamaño de la muestra. El margen de error generalmente establecido es del 5%, con un intervalo de confianza (IC) del 95%, lo que establece el valor z en 1,96. El valor porcentual comúnmente utilizado es 0,5 (50%).



Utilizando la fórmula indicada en la Ecuación 1, presentada en el capítulo anterior, se pudo calcular que se necesitarían 385 respuestas para que la investigación de mercados fuera utilizada como fuente confiable, y de esta manera, se estableció el número por parte del grupo como la meta a alcanzar.

El objetivo se logró con éxito ya que la investigación de mercado difundida en todas las redes sociales obtuvo 442 respuestas.

La primera pregunta "¿Viaja habitualmente/o ha viajado alguna vez en avión?", fue respondida por 442 personas, de las cuales 437 (98,9%) respondieron que ya habían viajado de esta manera, es decir, solo 5 de los votantes (1,1%) nunca habían tenido esta experiencia. La siguiente pregunta buscó conocer el sexo de los encuestados, la gran mayoría de los cuales el 77,4% reveló ser mujer, mientras que solo el 22,6% era hombre.

De los participantes de la encuesta, 275 (62%) declararon tener entre 14 y 30 años, 72 (16,3%) asumieron tener entre 31 y 50 años, y 95 (21,5%) declararon tener más de 50 años. También estaba la opción "hasta 13 años", que no fue elegida por ninguno de los encuestados.

En cuanto al peso de los usuarios, las respuestas estuvieron bien distribuidas en los distintos rangos de peso preestablecidos. De los encuestados, 34 (7,7%) informaron que pesaban menos de 50 kg, mientras que un gran número de 164 (37,1%) dijeron que pesaban entre 51 kg y 65 kg. Por otro lado, 118 personas (26,7%) reportaron pesar entre 75 kg y 85 kg y, finalmente, 57 (12,9%) de los encuestados respondieron que pesaban más de 85 kg.

La última pregunta fisiológica sobre los usuarios pedía información sobre su estatura. De los encuestados, 108 personas (24,4%) seleccionaron la opción entre 1,50 m y 1,60 m y casi la mitad de los participantes, 199 (45%) declararon tener entre 1,61 y 1,70 m de altura. La opción con el rango de 1,71 m a 1,80 m fue elegida por 98 personas (22,2%). Además, 29 usuarios (6,6%) declararon tener entre 1,81 m y 1,90 m y, finalmente, solo 7 encuestados (1,6%) tendrían su altura superior a 1,90 m.

En cuanto a la pregunta sobre las principales incomodidades encontradas en los viajes en avión, la más votada, como se preveía, fue el "asiento incómodo y poco espacioso", con el 82% de los votos; seguido por el factor de "precio de los boletos aéreos", elegido por el 70% del total de votantes.

Siempre en relación a la misma pregunta, la opción "límite de peso para el equipaje" fue votada por el 24,1% de los viajeros, quedando en tercer lugar. Las otras preguntas, menos votadas, fueron: "servicio a bordo (asistencia, comida)", elegida por el 10% de los votantes;



"Largas colas de espera para el check-in y el embarque", votado por el 9,8% de los encuestados y "Poco espacio para el equipaje de mano" elegido por solo el 7,3% de los usuarios.

Así, con las respuestas obtenidas a través de esta pregunta, se pudo confirmar que los asientos que actualmente utilizan las aerolíneas no están satisfaciendo del todo a sus clientes, quienes lo consideran incómodo y poco espacioso.

Ante la pregunta "¿Sueles sentir dolor después de viajes cortos (hasta 3 horas)?", el 54,1% de los viajeros respondió que no, mientras que el 29,6% dijo que a veces siente dolor y el 16,3% dijo que siente dolor en viajes cortos.

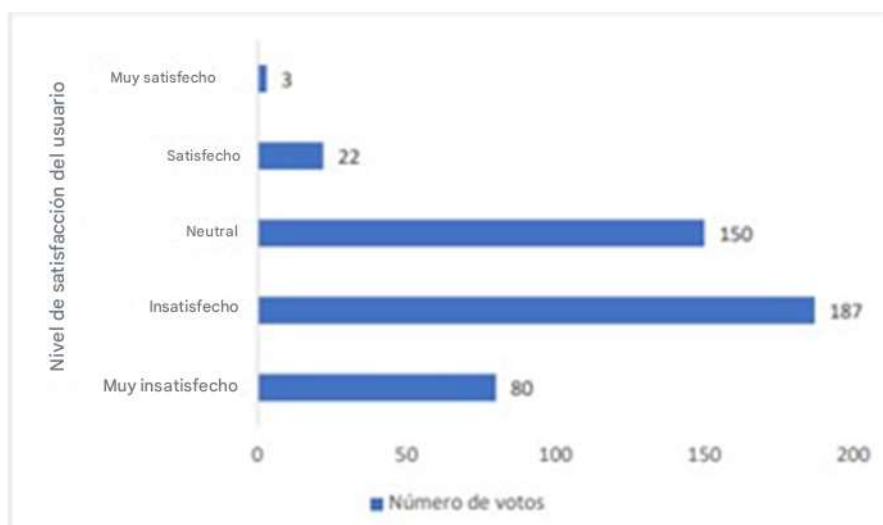
Sin embargo, en viajes largos (más de 3 horas) los valores cambian mucho: el 64,3% de los encuestados declaró sentir dolor; El 25,6% entiende que este sufrimiento ocurre a veces y solo el 10,2% dijo que no siente dolor después de viajes largos en avión. Estas cifras reflejan el número de usuarios que sienten dolor al utilizar los asientos actuales y la importancia de buscar nuevas soluciones ergonómicamente correctas.

Posteriormente, a los que respondieron afirmativamente en las preguntas anteriores se les preguntó en qué partes del cuerpo solían sentir tanto dolor, y se les permitió seleccionar más de una opción. La gran mayoría de los usuarios refirieron dolor en la "espalda" (50,5%), "cuello" (48,4%), "piernas" (44,1%) y "columna" (41,9%). Algunos viajeros también optaron por las opciones dolor en los "brazos" (1,6%), rodilla (1,1%) y "lumbares" (0,7%). Por último, hubo usuarios que incluyeron nuevas opciones como "coxis", "hombro", "glúteo", "oreja" y "tobillo".

Las siguientes preguntas permitieron al usuario seleccionar un número del 1 (muy insatisfecho) al 5 (muy satisfecho). El primero de ellos preguntaba directamente al usuario qué tan satisfecho estaba con los asientos que ofrecen actualmente las aerolíneas en clase económica. Las respuestas se describen en la Figura 13:



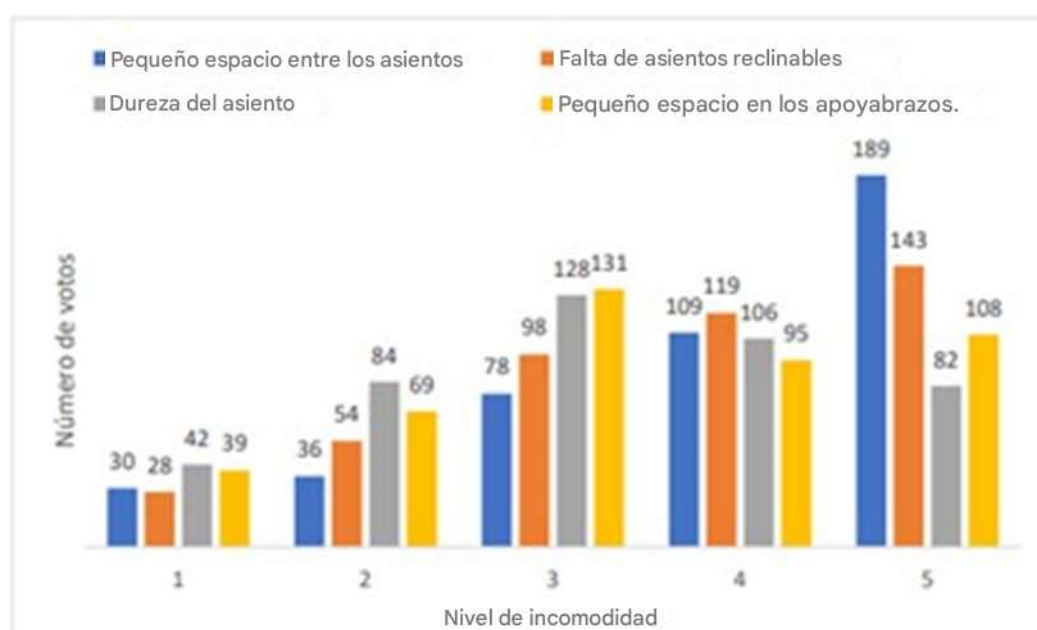
Figura 13 – Nivel de satisfacción de los usuarios



Fuente: (AUTORES, 2018)

En la figura 14 se presentan los resultados obtenidos a partir de los niveles de malestar del usuario

Figura 14 – Nivel de molestia para el usuario



Fuente: (AUTORES, 2018)

En relación a la variable "Pequeño espacio entre tu asiento y el que tienes delante", el número de votantes crece con cada nivel de incomodidad.

Considerando la variable "Poco inclinación de la silla", las respuestas siguieron el mismo patrón que en la pregunta anterior, pocos votos en las opciones que representan baja incomodidad y un mayor número de votos en las opciones que indican alta incomodidad.



Cuando se les preguntó sobre la "Dureza del asiento", los usuarios respondieron de diferentes maneras, y la mayoría se centró en las opciones de niveles de molestia 2, 3 y 4, como se muestra en la Figura 1.

Finalmente, los viajeros respondieron qué tan incómodos se sienten en relación al "Pequeño espacio en los reposabrazos de las sillas", obteniendo el nivel 3 como el más recurrente.

Con las respuestas de los viajeros en relación a cada una de las características, se realizó el promedio ponderado de las variables de manera que se pudo verificar cuál es la más crítica. El cálculo se realizó estableciendo un peso de 1 para una situación de "No me molesta" y un peso de 5 para una situación en la que el usuario se siente "Extremadamente incómodo" (Tabla 1).

Tabla 1 - Criticidad de las variables

Condición	Criticidad
Poco espacio entre asientos	114,5
Baja reclinación del asiento	108,1
Dureza del asiento	95,2
Pequeño espacio en los reposabrazos	99,3

Fuente: (AUTORES, 2018)

Así, se pudo entender que las variables del asiento del avión (actualmente utilizado en la clase económica de los aviones) que más incomodidad causan al pasajero, en orden ascendente, son el poco espacio entre el asiento y el de delante, seguido de la baja inclinación de este último, el poco espacio para los reposabrazos y, por último, la dureza de los asientos.

3.2. Resultados de las simulaciones RULA

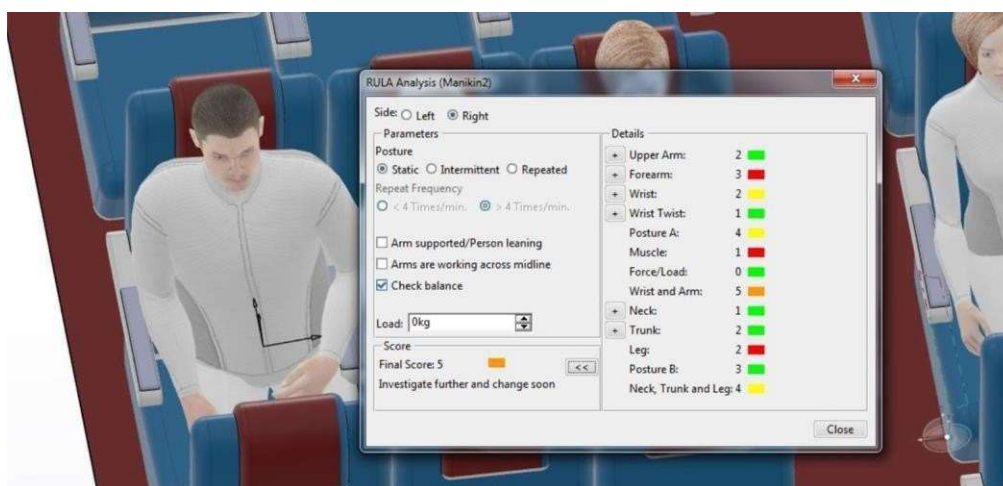
Después de realizar las simulaciones en el software 3D Experience Ergonomics for Car Design, se extrajo un informe de análisis RULA para cada maniquí digital utilizado. Recordando que la escala de análisis RULA va del 1 al 9.

El hombre estadounidense promedio estudiado tuvo un resultado de 5 puntos en el análisis RULA, lo que indica que el asiento era inadecuado para un hombre de tal tamaño y debería cambiarse pronto. Los miembros del avatar masculino que se vieron más afectados debido a la posición determinada por el asiento del avión fueron su antebrazo, brazos, hombros y piernas.



Después de un análisis en la simulación, se comprobó que la pequeña distancia entre un reposabrazos y el otro era en gran parte responsable de las molestias generadas en los brazos y hombros del hombre. Con la distancia entre los soportes de 480 mm, presentada en los asientos que se utilizan actualmente en el Airbus A320, el pasajero estadounidense promedio se ve obligado a encogerse de hombros y torcer los brazos de manera inapropiada (Figura 15).

Figura 15 - Simulación en avatar masculino americano



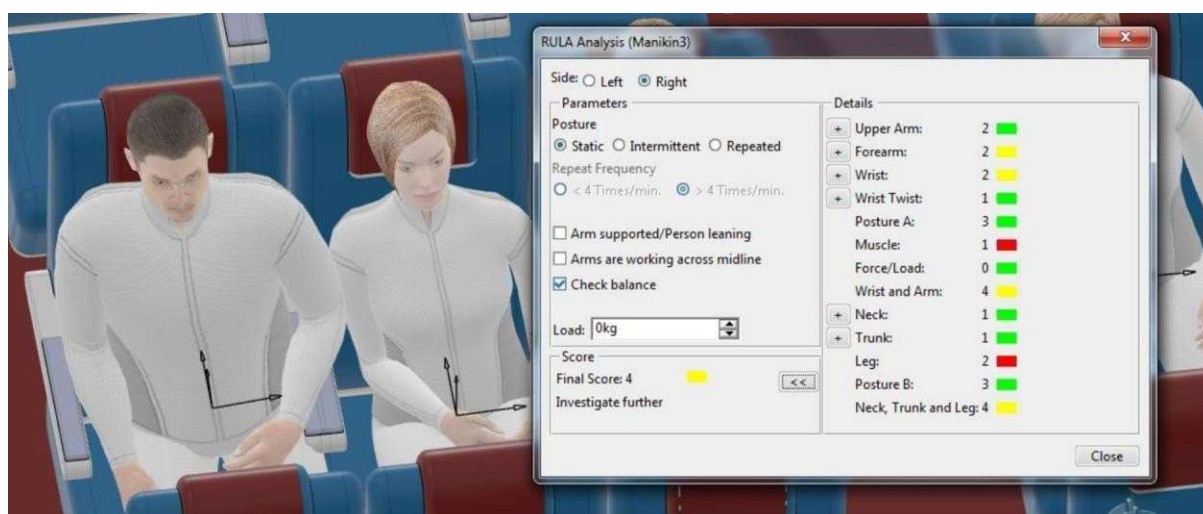
Fuente: (AUTORES, 2018)

En la segunda simulación, realizada en el maniquí femenino americano promedio, el resultado obtenido en el análisis RULA fue una puntuación de 4. A partir del análisis, se observó que las extremidades que mostraron más molestias fueron las piernas y el músculo posterior de los brazos del avatar. Dado que este maniquí es más pequeño que el presentado anteriormente, la puntuación generada en el análisis RULA fue menor.

Sin embargo, el hecho de que el avatar se sentara al lado de un avatar más grande le hizo encoger el hombro derecho y las piernas, para dañar estas extremidades de su cuerpo, como se muestra en la Figura 16.



Figura 16 - Simulación en avatar femenino americano

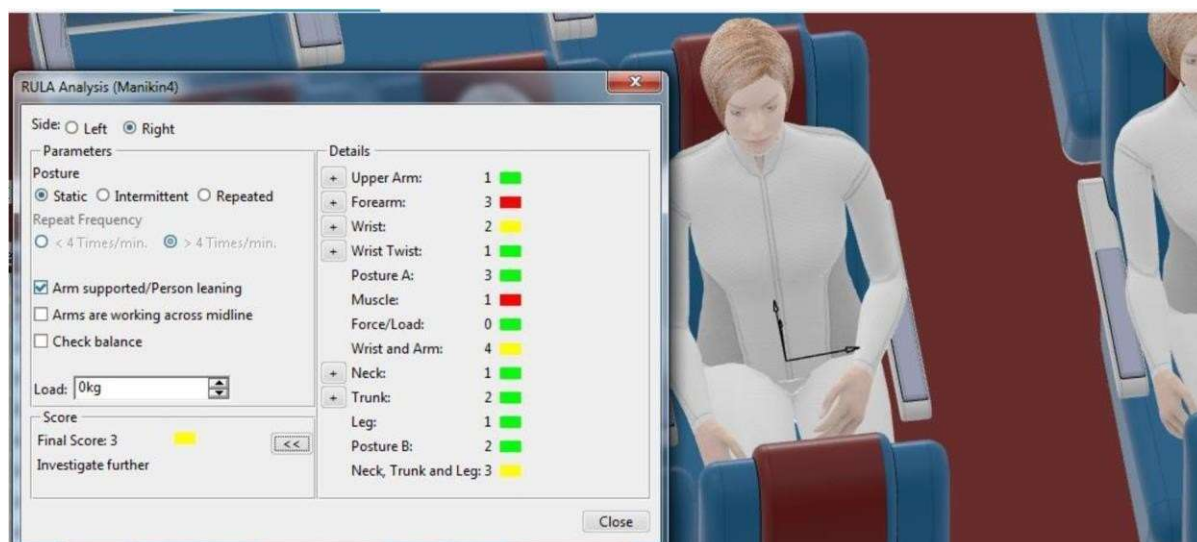


Fuente: (AUTORES, 2018)

El siguiente maniquí analizado, de nacionalidad francesa y mujer, presentó 3 puntos en el análisis RULA, indicando también la necesidad de investigación en el asiento en cuestión.

Dado que el lugar junto a este avatar estaba ocupado por otro avatar de tamaño no tan grande, el primero tenía mayor movilidad al apoyar sus brazos, lo que hizo que el análisis RULA generara un resultado menor, indicado en la Figura 17.

Figura 17 - Simulación en un avatar femenino francés



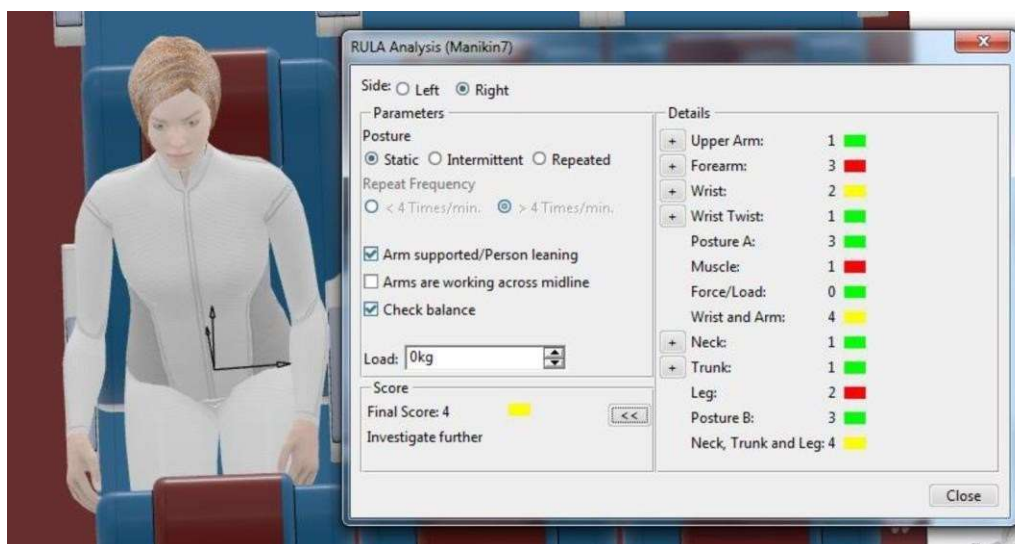
Fuente: (AUTORES, 2018)

El análisis RULA realizado sobre el maniquí femenino de nacionalidad india generó un resultado de 4 puntos, lo que refuerza la necesidad de investigar las causas de la mala postura proporcionada por el sillón estudiado.



Los miembros de este avatar sujetos a mayor riesgo de dolor musculoesquelético, en este caso, eran: antebrazo, músculo posterior de brazos y piernas. Al analizar los resultados, se puede observar que el sillón en el que está sentado el maniquí indio en la Figura 18 es demasiado estrecho para ella.

Figura 18 - Simulación en avatar femenino indio



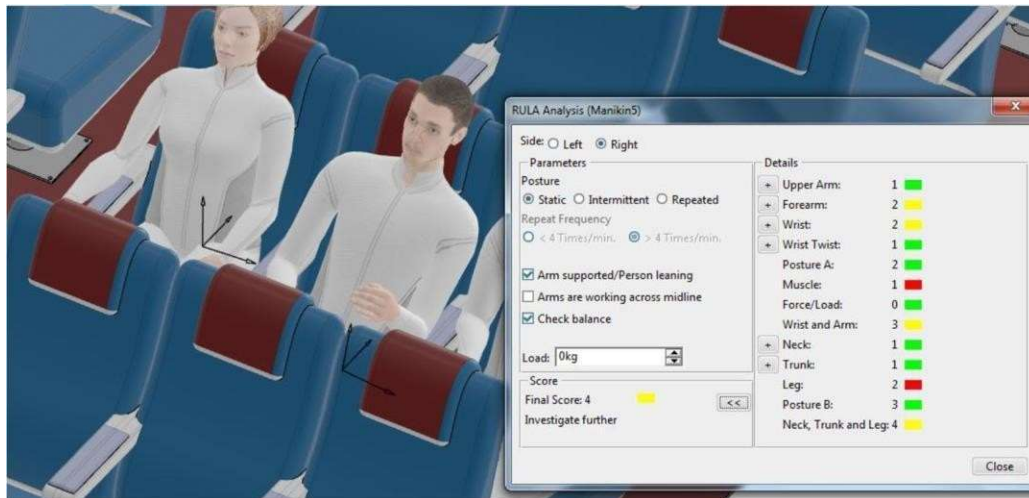
Fuente: (AUTORES, 2018)

El siguiente análisis se realizó en un maniquí masculino japonés (Figura 19). El RULA realizado en este maniquí indicó un riesgo de nivel 4, así como en el maniquí descrito anteriormente.

Debido al hecho de que un hombre japonés es, en promedio, más pequeño que un hombre estadounidense, la puntuación generada en el análisis RULA en esta simulación fue menor. Sin embargo, las extremidades más afectadas, en ambos casos, fueron las mismas.



Figura 19 - Simulación en avatar masculino japonés

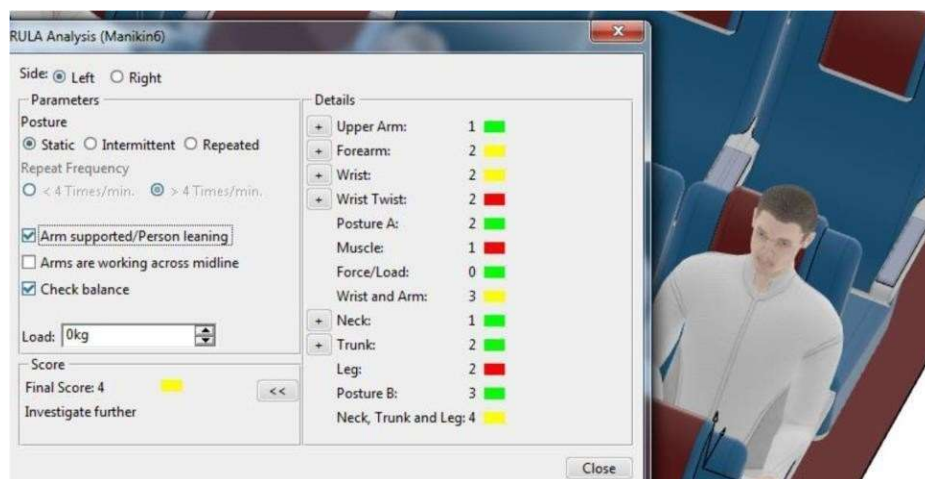


Fuente: (AUTORES, 2018)

Por último, el estudio ergonómico realizado sobre el maniquí masculino alemán generó un resultado de 4 en el análisis RULA.

A diferencia del maniquí japonés, presentado anteriormente, el maniquí alemán estudiado necesitó torcer sus brazos y muñecas de manera inapropiada para caber en el asiento del avión, como se ve en la Figura 20. Este hecho se debe a su mayor estatura y a la necesidad de que se encoja para apoyar sus brazos en los apoyos laterales.

Figura 20 - Simulación en un avatar masculino alemán



Fuente: (AUTORES, 2018)

Después de realizar el análisis RULA en los 6 avatares descritos anteriormente, se puede ver que el asiento, actualmente utilizado en los aviones Airbus A320, necesitaba ser investigado y sufrir cambios pronto para adaptarse a todos o a la mayoría de sus usuarios.



Además, fue posible notar que esos avatares más grandes, como el estadounidense y el alemán, tenían sus extremidades más intensamente afectadas que los demás durante las simulaciones.

El estudio realizado sobre estos seis avatares también permitió a los investigadores de este tema determinar las principales causas por las que los miembros de los maniqués se vieron afectados durante las simulaciones. Después de revisar todas las simulaciones realizadas, se concluyó que el principal motivo de incomodidad era el pequeño ancho del asiento, lo que provocaba que los pasajeros encogieran los hombros y las piernas, para acomodarse en el asiento del avión.

Tabla 2 - Resultados de las simulaciones RULA

Nacionalidad	Género	Resultado del método RULA
Americano	Masculino	5
Americano	Hembra	4
Francesa	Hembra	3
Indiana	Hembra	4
Japonés	Masculino	4
Alemán	Masculino	4

Fuente: (AUTORES, 2018)

3.3. Resultado del nuevo modelo de asientos y disposición de la aeronave

Después de realizar las simulaciones RULA, presentadas anteriormente, fue posible verificar que el ancho del asiento del avión estudiado era inadecuado para casi todos los avatares analizados. También se observó que el aumento de esta dimensión provocó una reducción significativa en la puntuación RULA, por lo que se hizo evidente la necesidad de un cambio en esta medida.

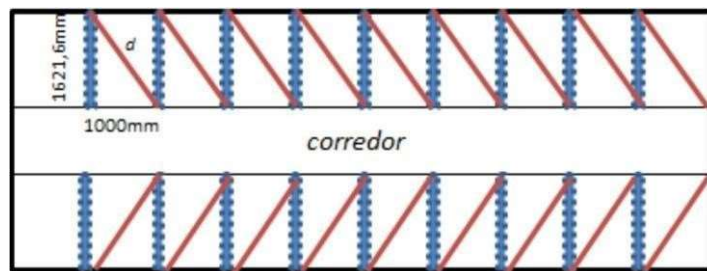
Con el fin de determinar cuánto podría aumentar la dimensión del ancho del sillón, se llevaron a cabo los siguientes análisis y cálculos:

La disposición del Airbus A320 consiste en filas dispuestas horizontalmente, con dos bloques de filas separados por un pasillo entre ellos. Cada una de las filas está compuesta por tres asientos uno al lado del otro, y el valor total de la longitud de una fila (considerando los tres asientos y sus respectivos reposabrazos) es de 1.621,65 mm, mientras que la *distancia* entre un sillón y el asiento de adelante es de 1.000,00 mm, ver Figura 10.



Se observó que, si las filas estuvieran dispuestas en diagonal, la distancia total de la longitud de una fila podría ser mayor (valor diagonal), lo que permitiría un aumento en el ancho de cada asiento y una gran mejora ergonómica, según las simulaciones estudiadas. En la Figura 21 se ilustra el estudio geométrico realizado para determinar el espacio disponible para la reubicación de los asientos, de manera que la medida del pasillo se mantuviera igual, para no entorpecer el paso de los pasajeros y el carro de comida.

Figura 21 - Nueva disposición de las filas de asientos en el avión

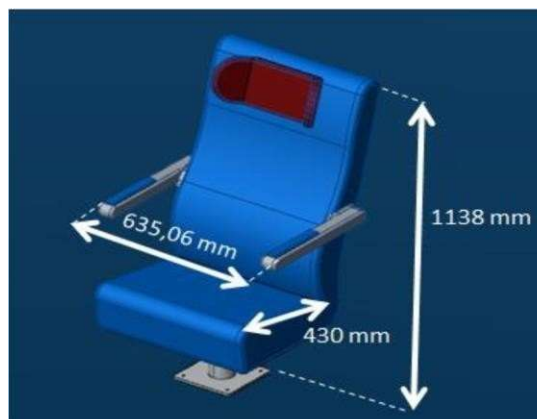


Fuente: (AUTORES, 2018)

A partir de los resultados mostrados anteriormente, se definió la nueva anchura y la nueva *distancia entre asientos* del asiento en preparación. El valor de la distancia *d* encontrada, de 1905,19 mm, permitió asignar 3 asientos, cada uno con 635,06 mm de ancho, considerando los reposabrazos. De esta forma, el nuevo asiento es ahora casi 100 mm más grande que el anterior, que medía 540,55 mm de ancho. Además, el nuevo valor de *paso de asiento* de 851,12 mm sigue formando parte del paso de asiento de clase A establecido por ANAC (valores superiores a 730 mm).

Después de realizar los cambios necesarios en el asiento del Airbus A320, con el fin de reducir los riesgos presentados en las simulaciones RULA, presentadas anteriormente, se obtuvo el siguiente modelo de asiento, que se muestra en la Figura 22 y la Figura 23.

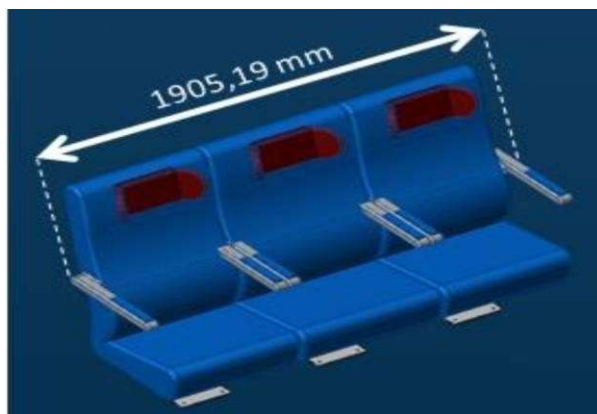
Foto 22 - Medidas del nuevo sillón





Fuente: (AUTORES, 2018)

Figura 23 - Medidas de una nueva fila



Fuente: (AUTORES, 2018)

Con la nueva distribución, se ha conseguido aumentar la anchura del asiento en 94,51 mm, añadiéndose 50 mm de tapicería y el resto utilizándose para insertar reposabrazos individuales, con el fin de evitar compartirlo, como en el modelo anterior. De esta manera, se logró aumentar el espacio interior para que el pasajero se sentara en poco más del 10% de su antigua dimensión. Este cambio solucionó la mayor parte de las molestias causadas por el antiguo asiento, ya que en el nuevo asiento los pasajeros ya no necesitan encoger los hombros y las piernas para acomodarse en el asiento.

De acuerdo con la Tabla de Kroemer que se muestra en la Figura 28, los valores máximos encontrados en el estudio de muestra para el ancho de la cadera con el cuerpo sentado, según el percentil 95% de las mujeres, estuvieron en el rango de 459,40 mm. Además, el ancho medio de hombros encontrado en el estudio fue de 435,00 mm. De esta manera, el nuevo asiento también es coherente con este análisis, y promete aportar más espacio y comodidad al viajero.

Otro factor importante que se analizó durante el diseño del nuevo asiento fue la altura del asiento, ya que la correcta posición al sentarse requiere que los pies descansen completamente sobre una superficie, es importante que la altura del asiento sea la misma distancia desde la rodilla hasta el suelo (Dul & Weerdmeester, 2012). Además, proyectar la lumbar hacia delante para poder apoyar los pies en el suelo puede ser extremadamente perjudicial para la salud.

Por lo tanto, para evitar que las personas más bajas tengan las piernas "flotando" en el aire, la altura del asiento debe diseñarse considerando los valores más bajos de longitud de la pierna, que corresponde, según el análisis de Kroemer, a 400 mm. La medida de altura del antiguo sillón ya cumplía con este requisito, que se mantuvo intacto para el nuevo sillón.

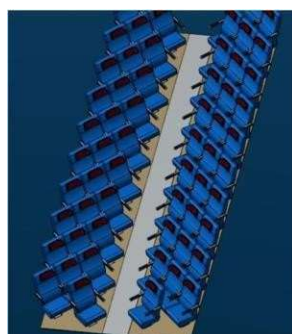


Además, en relación con la longitud del asiento, la medida correcta debe representar el valor más bajo encontrado para la longitud del muslo, con el fin de evitar la presión en la parte inferior del mismo. Las dimensiones adecuadas para acomodar los glúteos y los muslos deben dejar solo los restos de la rodilla (Iida y Buarque, 2016). El valor indicado en el estudio fue de 430 mm, así adoptado para la longitud del nuevo asiento (ROEBUCK, J. A. Jr.; KROEMER, K. H. E.; THOMSON, 1975).

Por último, se insertó un reposacabezas lateral que sirve de cojín, aumentando la comodidad del pasajero al inclinarse hacia los lados y minimizando los posibles dolores de cuello y columna vertebral durante los viajes largos.

La nueva distribución de asientos dentro de la aeronave se puede ver en la Figura 24 y la Figura 25. Se puede notar que en la última fila solo había dos asientos a cada lado. Para no cambiar el número de asientos dentro del avión, estos asientos restantes se insertaron, uno a cada lado, en la parte delantera del avión.

Figura 24 - Nueva vista superior de la distribución de asientos



Fuente: (AUTORES, 2018)

Figura 25 - Nueva distribución de asientos - vista lateral



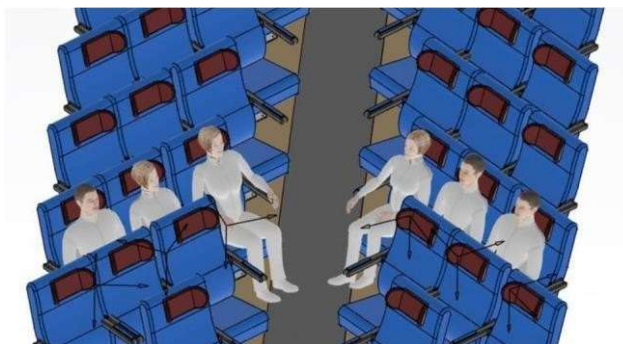
Fuente: (AUTORES, 2018)

Se presentarán los resultados de las simulaciones realizadas con los seis maniqués digitales, utilizando el nuevo asiento y la nueva disposición de la aeronave, de la misma forma que se realizaban anteriormente con el modelo de asiento aéreo del Airbus A320, con el fin de



visualizar los cambios y posibles mejoras ergonómicas adquiridas. La figura 26 ilustra la posición de los maniqués en el nuevo asiento.

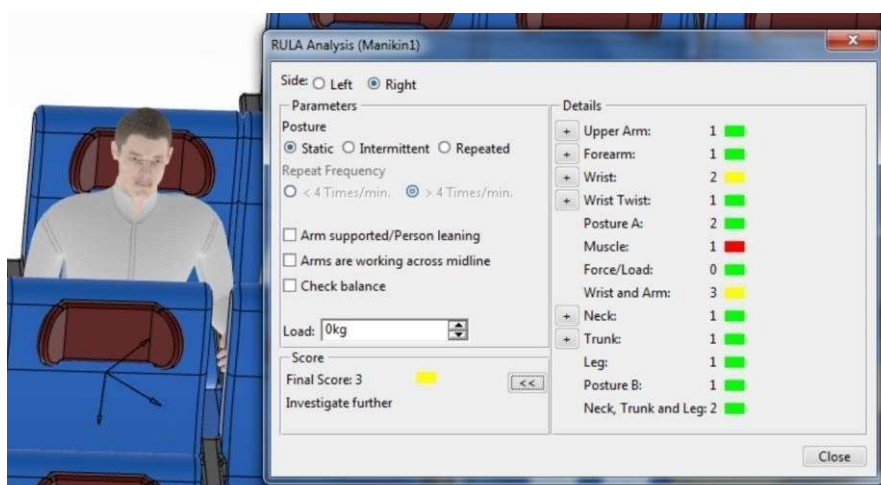
Figura 26 - Avatares colocados en los nuevos asientos del avión



Fuente: (AUTORES, 2018)

El primer maniquí analizado fue el hombre estadounidense, que previamente había presentado una puntuación de 5 en el análisis ergonómico RULA, lo que indicaba una extrema necesidad de cambio. Con el nuevo asiento, el análisis arrojó un valor de 3 para este avatar, lo que apunta a una gran mejora ergonómica, aunque todavía hay algunos puntos de atención. El factor que más contribuyó a esta mejora fue el aumento de la distancia entre los reposabrazos del sillón, lo que permitió al avatar una mayor movilidad, por lo que no necesitó encoger los brazos y los hombros mientras estaba sentado. En la Figura 27 se muestran los resultados obtenidos en esta nueva simulación.

Figura 27 - Simulación de un avatar masculino americano en el nuevo sillón



Fuente: (AUTORES, 2018)

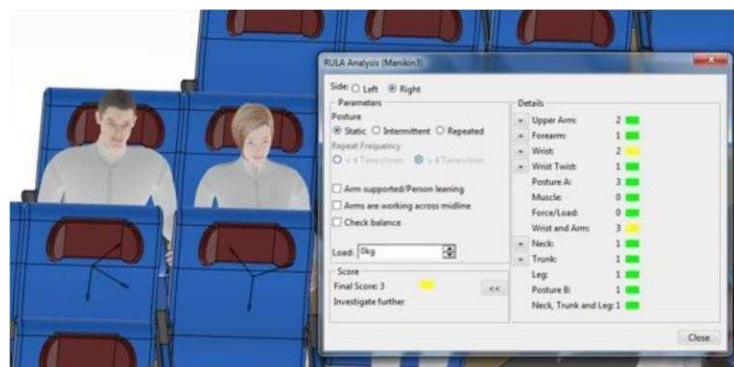
El segundo maniquí analizado fue una mujer americana, de sexo femenino (Figura 28), que obtuvo el resultado 4 en el análisis ergonómico del antiguo sillón. Este valor se redujo a 3



con el uso de la nueva silla, lo que demuestra unas condiciones aceptables para las personas de este tipo físico, aunque todavía quedan algunos puntos de atención.

En el primer análisis realizado con este avatar, se observó que el principal problema se localizaba en las piernas y el músculo posterior de los brazos, debido a que estaba sentado al lado de un avatar más grande (hombre americano descrito anteriormente), lo que hacía necesario encoger el hombro y las piernas. Con el aumento de la anchura del asiento, el avatar dispone ahora de espacio suficiente para apoyar adecuadamente sus extremidades sin verse influenciado por el tipo físico de los avatares que se encuentran a su lado, lo que explica la mejora obtenida.

Figura 28 - Simulación de un avatar femenino americano en el nuevo sillón

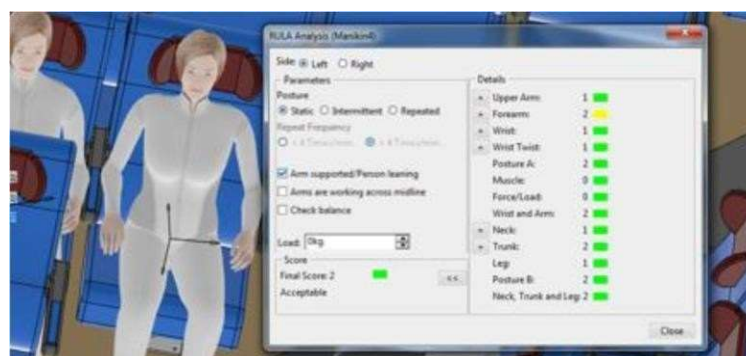


Fuente: (AUTORES, 2018)

A continuación, se realizó el análisis de RULA en el maniquí femenino francés (Figura 29). La simulación sobre este maniquí generó una puntuación de 2 en la escala RULA, lo que indica que la posición de este avatar en el nuevo asiento está en condiciones aceptables para este tipo de cuerpo.

En la simulación previa realizada con este maniquí, el resultado de RULA presentado había generado una puntuación de 3, lo que indica la necesidad de investigación del asiento.

Figura 29 - Simulación de un avatar femenino francés en el nuevo sillón



Fuente: (AUTORES, 2018)



El siguiente maniquí analizado fue de nacionalidad india, de sexo femenino, que además había obtenido un resultado de 4 en el análisis del antiguo sillón. Como se muestra en la Figura 30, el resultado generado con el nuevo sillón fue de 2, con todas las extremidades en condiciones ergonómicas aceptables, a excepción del antebrazo, que aún tiene algún punto por mejorar. Este resultado demuestra una vez más cómo los cambios del nuevo asiento han contribuido realmente a la mejora ergonómica.

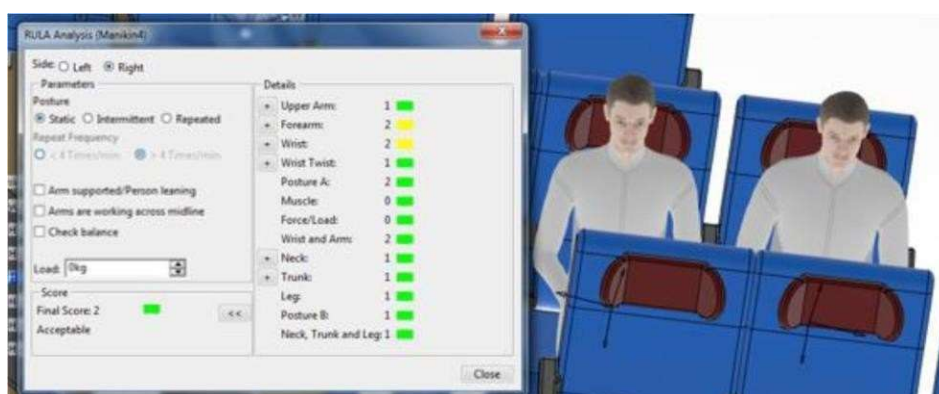
Figura 30 - Simulación de un avatar femenino indio en el nuevo sillón



Fuente: (AUTORES, 2018)

Posteriormente, el análisis se realizó en un maniquí masculino japonés. El RULA realizado en este maniquí había indicado una puntuación de nivel 4, y en el presente análisis, como se muestra en la Figura 31, el resultado pasó a ser de nivel 2, con solo el antebrazo y la muñeca mostrando puntos de posible mejoría, mientras que las otras extremidades estaban en condiciones ergonómicas aceptables.

Figura 31 - Simulación de un avatar masculino japonés en el nuevo sillón



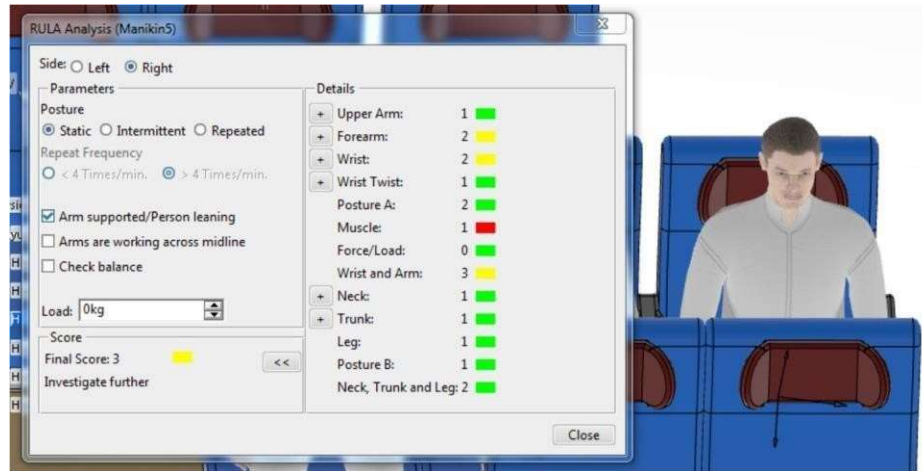
Fuente: (AUTORES, 2018)

La última simulación realizada fue sobre el maniquí masculino de nacionalidad alemana, que había obtenido un resultado de nivel 4 y pasó a ser de nivel 3 en el nuevo asiento



analizado. El resultado obtenido fue muy similar al del avatar estadounidense, ya que ambos tienen tipos físicos grandes similares. La Figura 32 muestra los resultados de esta simulación.

Figura 32 - Simulación de un avatar masculino alemán en el nuevo sillón



Fuente: (AUTORES, 2018)

Tras realizar todas las simulaciones en el nuevo asiento del avión utilizando los diferentes avatares y compararlos con los resultados obtenidos previamente con el asiento anterior, se observó que en todos los casos hubo una mejora en el resultado ergonómico, como se esperaba. En la Tabla 3 se muestra que se pueden comparar los valores obtenidos en las simulaciones de los dos asientos analizados.

Tabla 3 - Comparación de los resultados del análisis RULA de las simulaciones realizadas en los dos modelos de sillón

Nacionalidad	Género	Sillón Airbus A320	Sillón de ingeniería
Americano	Masculino	5	3
Americano	Hembra	4	3
Francesa	Hembra	3	2
Indiana	Hembra	4	2
Japonés	Masculino	4	2
Alemán	Masculino	4	3

Fuente: (AUTORES, 2018)

Solo en el resultado de los avatares más grandes, hombre estadounidense, mujer alemana y estadounidense, aunque también muestran mejoras, todavía hay algunos puntos de atención. Esto se debe a que, debido a sus mayores dimensiones, sus extremidades siguen viéndose afectadas de forma más intensa que los otros maniquíes analizados.



Otro aspecto destacable es el hecho de que en ergonomía, pequeños cambios pueden suponer grandes mejoras en el resultado. El asiento del avión fue un ejemplo de ello, considerando que estos resultados positivos se lograron a través de pequeños cambios realizados en algunas dimensiones del asiento del Airbus A320.

4. CONCLUSIÓN

Este trabajo tuvo como objetivo desarrollar un análisis ergonómico del asiento estándar, actualmente utilizado en los aviones comerciales de clase económica, para comprender las principales causas de malestar que experimentan los pasajeros y diseñar un nuevo modelo de asiento capaz de satisfacer mejor las necesidades de los usuarios, brindándoles comodidad y seguridad durante los vuelos.

La hipótesis de que el modelo actual de sillón no es ergonómicamente correcto para los viajeros fue reforzada por una investigación de mercado, que mostró insatisfacción de la mayoría de ellos; y confirmado por el análisis ergonómico en el software 3D Experience CATIA Ergonomics for Car Design, realizado en seis maniqués de diferentes nacionalidades y tipos fisionómicos, que reveló la necesidad de una investigación sobre el asiento del Airbus A320 y los cambios futuros. Por lo tanto, se puede concluir que el objetivo principal de este estudio se logró con éxito.

Los cambios realizados en el diseño del avión, con las filas de asientos colocadas en diagonal en lugar de horizontalmente, permitieron un aumento de 94 mm en el ancho de cada asiento individual. Esta modificación promovió varias mejoras ergonómicas en el asiento en comparación con su modelo anterior, de acuerdo con las nuevas simulaciones realizadas en el software 3D Experience CATIA Ergonomics for Car Design.

Además, se exploraron y probaron las principales dimensiones del nuevo sillón (altura, longitud y anchura) junto con la tabla de dimensiones antropométricas de Kroemer, donde se verificó que, efectivamente, las medidas del asiento están de acuerdo con la anatomía humana.

Debido a la falta de información y condiciones para la fabricación del nuevo asiento de tamaño completo, no fue posible abordar y estudiar el tema de la reducción de peso, para posibles menores costos para la aerolínea (objetivo secundario).

Sin embargo, dada la importancia del tema, y con el fin de mejorar cada vez más la seguridad, comodidad y bienestar de los pasajeros durante sus viajes; Es necesario profundizar este estudio en los asientos de los otros aviones suministrados hoy por las aerolíneas.



Como propuesta para futuros trabajos, existe la posibilidad de realizar un estudio de factibilidad de la nueva disposición de asientos en relación a los estándares aeronáuticos, además de una investigación de mercado para verificar y entender la aceptación de los pasajeros en relación a la disposición sugerida, y así, constatar otras posibles mejoras en el objeto de estudio.

REFERENCIAS

- Agência Nacional de Aviação Civil. (2009). Programa Selo De Avaliação Dimensional: Selo Anac. Agência Nacional de Aviação Civil. (2009). *Programa Selo De Avaliação Dimensional: Selo Anac*.
- Casagrande, V. (2018). *Aérea poupa R\$ 10 mi em combustível com menos vinho a bordo e revista leve*. Todos a Bordo. <https://todosabordo.blogosfera.uol.com.br/2018/02/04/aerea-economia-combustivel-menos-vinho-revista-leve/>
- DAC. (2005). *RBHA 121 Requisitos Operacionais : Operações Domésticas , De Ban- Deira E Suplementares Este Arquivo Contém O Texto Do Rbha 121 , Aprovado Pela Portaria Nº 483 / Dgac De 20 De Março De 2003 , Publicada No Dou Nº 76 , De 22 De Abril De 2003 , Incluindo Tod*.
- Dassault Systèmes. (n.d.). *The 3DEXPERIENCE platform, a Game Changer for Business and Innovation*. Retrieved March 13, 2021, from <https://www.3ds.com/3dexperience>
- Dombidau Junnior, R. C., Silva, B. C. B. da, & Canedo, G. R. (2017). Aplicação Do Método Rula (Rapid Upper Limb Assessment) Em Um Laboratório Didático. *Xxxvii Encontro Nacional De Engenharia De Producao*. http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_241_401_32996.pdf
- Dul, J., & Weerdmeester, B. (2012). *Ergonomia Prática* (3rd ed.). Blucher. ELHECHI, A. (2013, January 30). *AirBus A320 | 3D CAD Model Library | .GrabCAD*. <https://grabcad.com/library/airbus-a320--2>
- Iida, I., & Buarque, L. (2016). Ergonomia: Projetos e Produção. In *Blucher*. Blucher. Kroemer, K. H. E., Kroemer, H. B., & Kroemer-Elbert, K. E. (2000). *Ergonomics: How to Design for Ease and Efficiency*. Pearso.
- Mateus Junior, J. R. (2009). *Diretrizes Para Uso Das Ferramentas De Avaliação De Carga Física De Trabalho Em Ergonomia: Equação Niosh E Protocolo Rula* [Universidade Federal de Santa Catarina]. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/92479/264521.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of world-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics* , 24(2), 91–99.
- McAtamney, L., & Corlett, N. (2016). Avaliação rápida dos membros superiores (RULA). In



- N. Stanton, A. Hedge, K. Brookhuis, E. Salas, & H. Hendrick (Eds.), *Manual de Fatores Humanos e Métodos Ergonômicos* (pp. 73–83). Phorte.
- ROEBUCK, J. A. Jr.; KROEMER, K. H. E.; THOMSON, W. G. (1975). *Engineering anthropometry methods*. John Wiley.
- Rosenbloom, S. (2016). Fighting the Incredible Shrinking Airline Seat. The New York Times. <https://www.nytimes.com/2016/02/29/travel/shrinking-airline-seats.html>
- Shida, G. J., & Bento, P. E. G. (2012). Métodos e ferramentas ergonômicas que auxiliam na análise de situações de trabalho. *VIII Congresso Nacional De Excelência Em Gestão*.
- SKYTRAX. (n.d.). *Airline Seat Pitch Guide*. Retrieved June 1, 2020, from <https://www.airlinequality.com/info/seat-pitch-guide/>
- Vinholes, T. (2018, January 18). *Boeing forma nova empresa para fabricar assentos de avião*. Airway. <https://www.airway.com.br/boeing-forma-nova-empresa-para-fabricar-assentos-de-aviao/>