

Universidad Internacional SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Propuesta de Diseño Ergonómico Centrado en el Asiento del Usuario de Unidades de Transporte Interprovincial del Ecuador

Autor: Ing. Cristhian Fernando Bolaños Portilla

Directora: Ing. Diana Belén Peralta Zurita M.Sc.

Codirector: Ing. Jaime Vinicio Molina Osejos M.Sc.

Quito - 2018

Antecedentes

Los medios de transporte masivos fueron creados para movilizar pasajeros; sin embargo, este concepto ha sido alterado, intereses económicos son más importantes que garantizarle al usuario un viaje cómodo y placentero. Grandes fabricantes de buses como: Yutong (asiática), Irizar (europea) y Marcopolo (brasileña), no únicamente hacen presencia en sus respectivos continentes sino que también son marcas presentes en el país. Carroceras nacionales como: IMCE, CEPEDA, entre otras, han tomado los diseños tanto externos como internos de las marcas antes mencionadas, como base para la fabricación de sus buses, entre ellos las unidades interprovinciales.

Un factor determinante en el diseño del asiento del pasajero, es sin lugar a duda la población, específicamente su antropometría; esto, le permite al diseñador considerar ciertas dimensiones antropométricas pese a la diferencia de percentil existente, para diseñar un producto ergonómico para dicha población. En el país los estudios antropométricos son muy limitados actualmente.

El Problema

- Intereses económicos antes que comodidad.
- Tomar como base diseños extranjeros de asientos, implica adoptar las dimensiones procedentes de la respectiva población.
- Profundidad excesiva del cojín.
- Altura excesiva del cojín.
- Dimensiones de las curvaturas: lumbar, dorsal y cervical no definidas.
- Ausencia de soportes: lumbar y cervical.
- Datos antropométricos limitados (Freire et al., 2014; Vargas, 2015; Ávila et al., 2015).
- Falta de estudios nacionales para el mejoramiento ergonómico del asiento de pasajero (IMCE, 2016).
- Estudios enfocados en el asiento del conductor (Jung et al., 1998; Kyung & Nussbaum, 2008; Park et al., 2014).
- No existe control en el diseño del asiento de pasajero (INEN, 2015).

Objetivos

Objetivo principal.

Proponer un diseño de asiento de pasajero de bus interprovincial que mejore las condiciones ergonómicas del usuario ecuatoriano.

Objetivos específicos:

1. Determinar los datos antropométricos de la población ecuatoriana a través de estudios previos, para definir las dimensiones adecuadas del asiento.
2. Establecer las dimensiones idóneas para los respectivos soportes del asiento: lumbar y cervical, a través de la recreación de las curvaturas de la columna vertebral.
3. Garantizar que el diseño propuesto cumpla con la NTE INEN 1668.
4. Validar el prototipo de asiento, mediante una escala de incomodidad de 5 puntos asignada a cada región de un mapa de cuerpo posterior y, a través de un medidor digital de fuerza de empuje para establecer la distribución de la fuerza ejercida por cada región.
5. Realizar simulaciones con los diseños CAD del asiento actual y el asiento propuesto, para determinar la distribución de la presión ejercida por las regiones posteriores del cuerpo sobre cada uno de ellos.

Hipótesis

A partir de un previo estudio antropométrico de la población ecuatoriana, se podrá realizar el diseño, dimensionamiento y construcción del asiento de pasajero que permita mejorar la ergonomía del mismo en los buses de transporte interprovincial durante un viaje de larga duración.

Consideraciones del estado del arte

La postura adoptada por el pasajero durante un viaje de largo recorrido, puede ser la causante de dolores musculares, contracturas o en el peor de los casos originar una enfermedad, como es el caso de la isquemia, lumbalgia, cervicalgia, hernias discales, diverticulitis, entre otras, como se muestra en la figura 1 (Martínez, 2014; Vargas, 2014).



Figura 1. Lumbalgia (Martínez, 2014); Cervicalgia (Notimundo, 2016); Hernia discal (Fiorela, 2015)

Según Rouvière & Delmas (2016), la columna vertebral tiene una longitud promedio de 750 mm. Se compone de elementos óseos superpuestos denominados vértebras, la cantidad de estas últimas se consideran constantes para el 65 % de los individuos, el restante presenta pequeñas variaciones. El número de vértebras oscilan entre 33 – 35, de las cuáles: 24 son pre-sacras (7 cervicales, 12 torácicas y 5 lumbares), 5 sacras y de 3 – 5 coccígeas como se muestra en la figura 2.

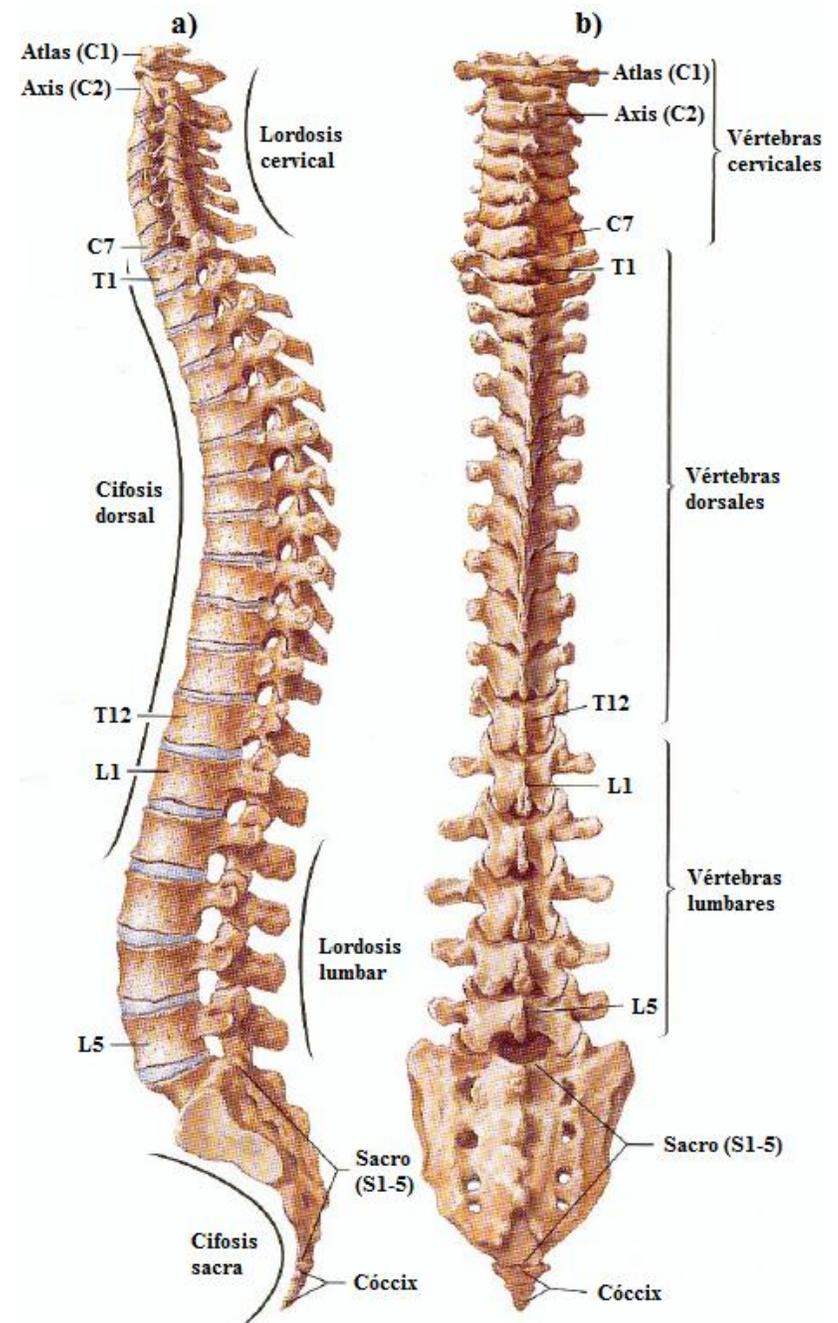


Figura 2. Constitución de la columna vertebral. (Rouvière & Delmas, 2016)

Según Jung et al. (1998), las actividades realizadas por un pasajero durante un viaje, afectan directamente a su postura infiriendo al mismo tiempo en su confort. Las actividades pueden ser dinámicas o estáticas. Existen 3 posturas claramente identificadas: la postura erguida (2 %), la postura relajada (32 %) y la postura relajada-extendida (64 %), como se muestra en la figura 3.

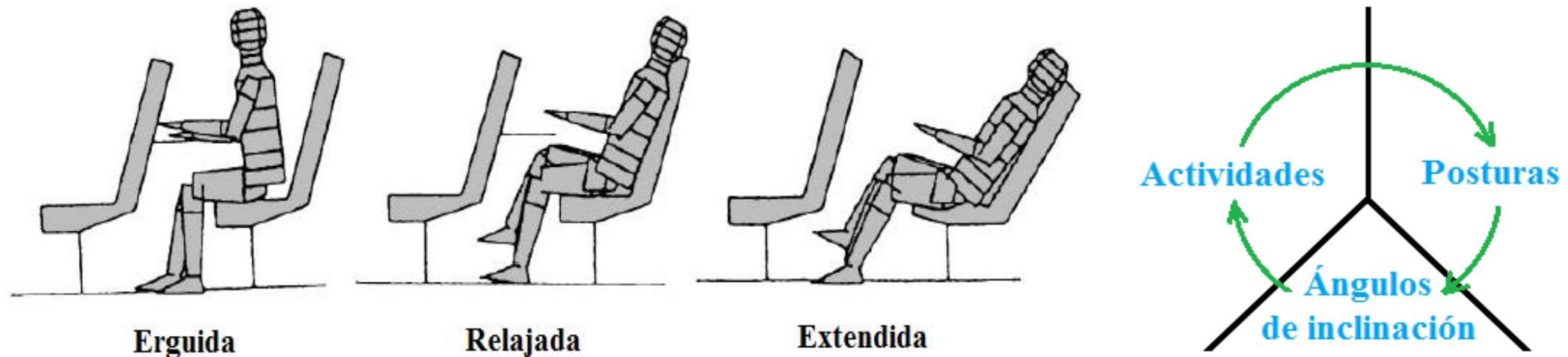


Figura 3. Las posturas de tres grupos de actividades (Jung et al., 1998); Influencia entre actividades, posturas y ángulos de inclinación (Autor, 2018)

El pasajero adopta una determinada postura con la finalidad de alcanzar una estabilidad corporal, todos los esfuerzos adicionales que sean realizados por el usuario en el asiento, con el transcurso del tiempo le ocasionarán incomodidad (Mastrigt, 2015). En la figura 4 se muestran los respectivos diagramas de palo para las diferentes posturas.

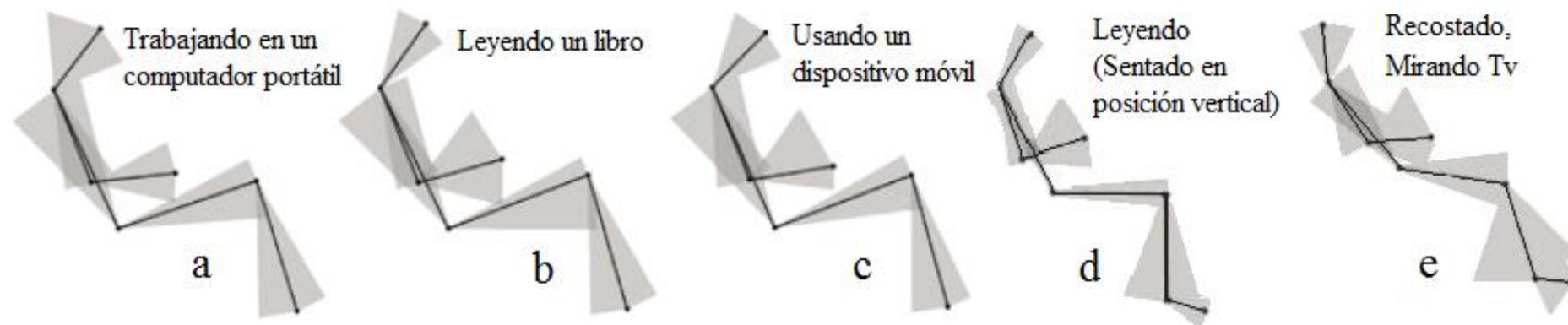


Figura 4. Diagramas de palo de los ángulos del cuerpo observados para las posturas correspondientes a las distintas actividades (a - e). Las líneas negras representan los valores medios; Las áreas grises representan los ángulos mínimos y máximos observados. Mastrigt, 2015.

Según Liu & Wu (2010), durante viajes de larga duración los principales problemas musco-esqueléticos se distribuyen de la siguiente manera (figura 5):

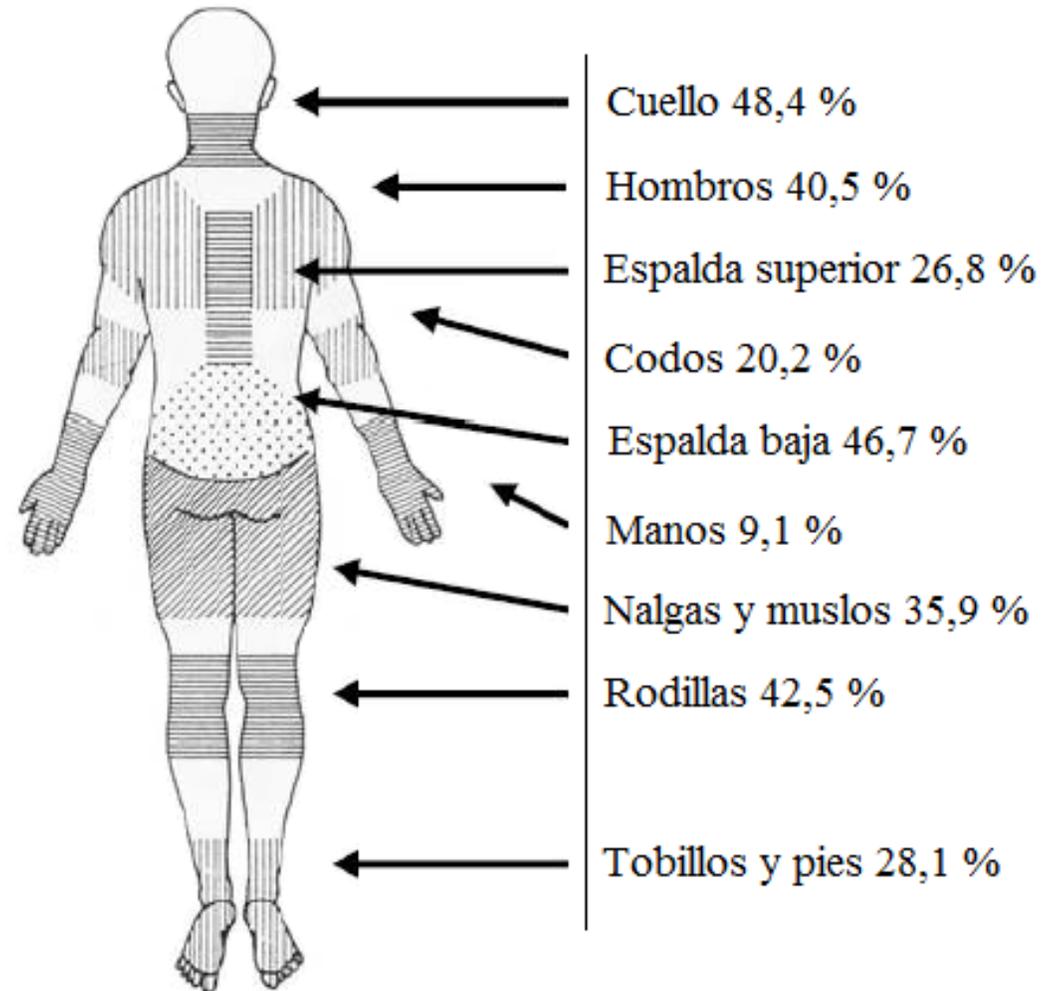


Figura 5. Índice de incomodidad representado en el mapa del cuerpo. (Liu & Wu, 2010)

Kyung & Nussbaum (2008) mencionan que, la comodidad del asiento del conductor en relación a la presión de la interfaz del mismo se distribuye de la siguiente manera (figura 6):

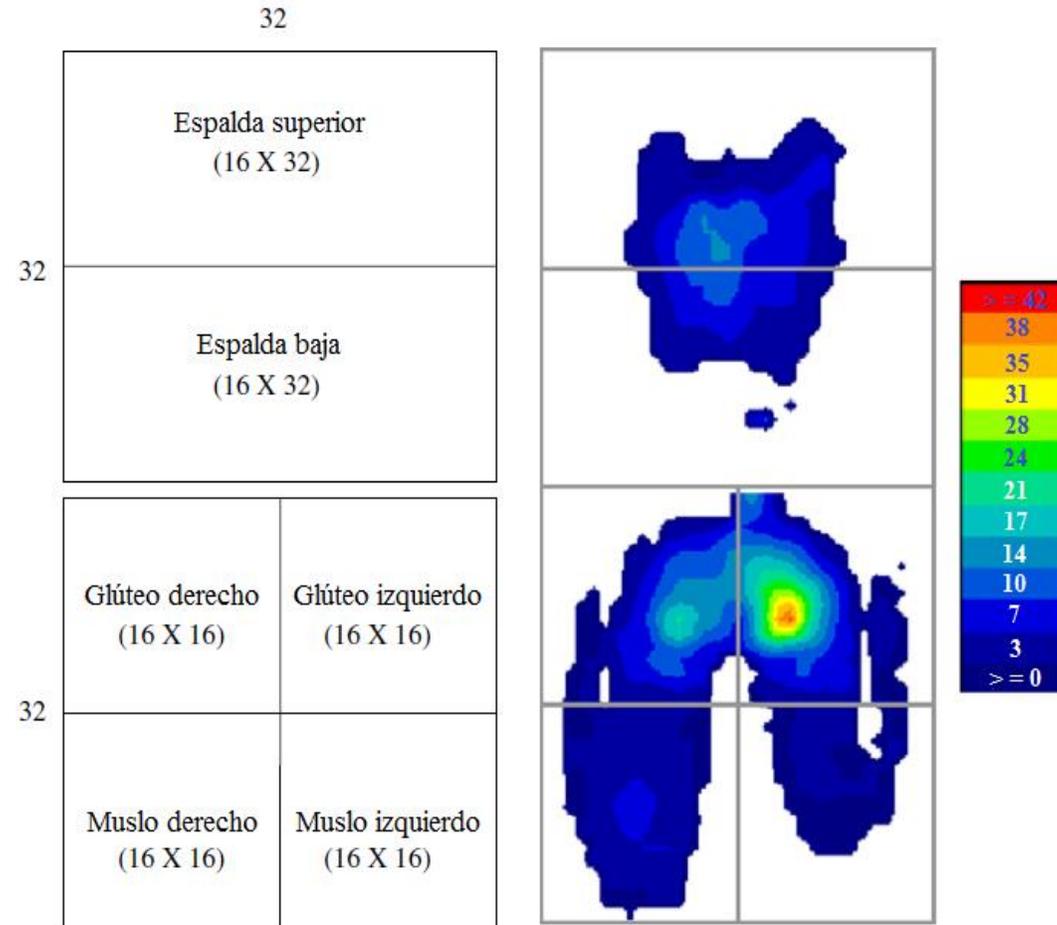


Figura 6. División de dos bandas de presión para seis partes del cuerpo (izquierda, número de sensores entre paréntesis, columna por fila) y distribución de presión ejemplar (derecha, una presión de pico más alta en la nalga derecha). (Kyung & Nussbaum, 2008)

En la figura 7 se muestra la distribución de la presión ejercida por el usuario sobre el asiento, para el caso A se lo realiza sobre un asiento sin soporte lumbar; mientras que, en el caso B, el asiento cuenta con soporte lumbar (Harrison et al., 2000).

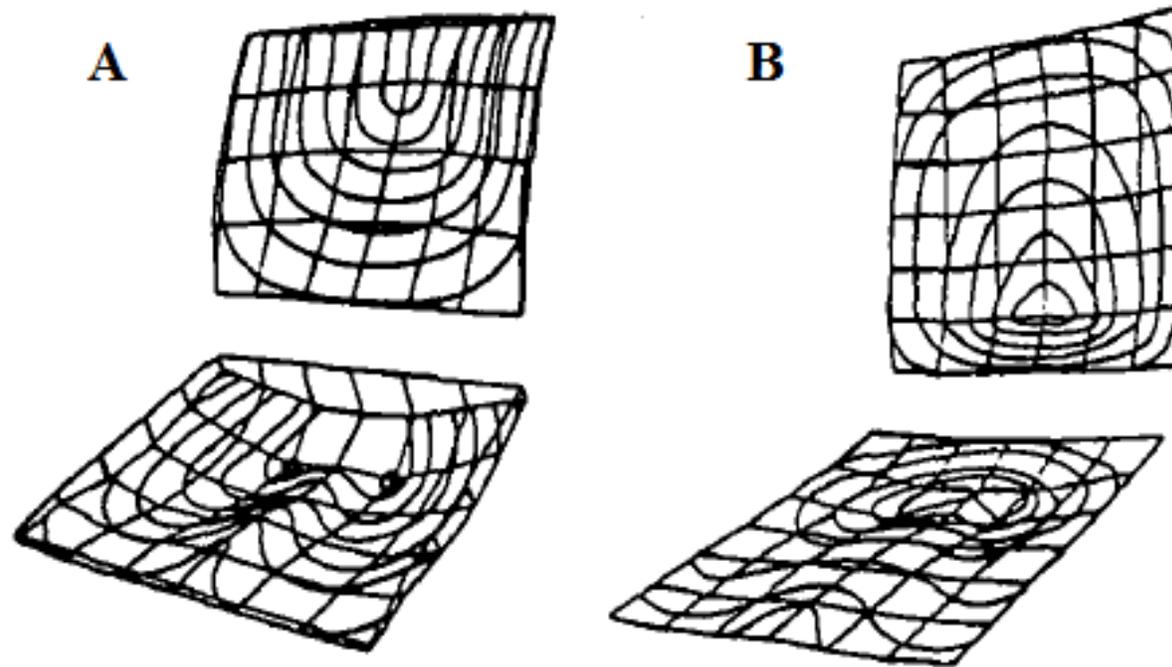


Figura 7. Distribución de la presión del asiento en un asiento de espuma blanda sin soporte lumbar (A) frente a un asiento de espuma firme con respaldo lumbar (B). Harrison et al., 2000.

La antropometría es la ciencia encargada del estudio de las medidas del cuerpo humano, estas, varían según la raza, edad y género. Los datos antropométricos de una población son expresados en percentiles, estos, indican el porcentaje de personas que tienen una dimensión corporal igual o menor de una medida establecida (Panero & Zelnik, 1996). Las dimensiones antropométricas fundamentales para el diseño de asientos son mostradas en las figura 8.

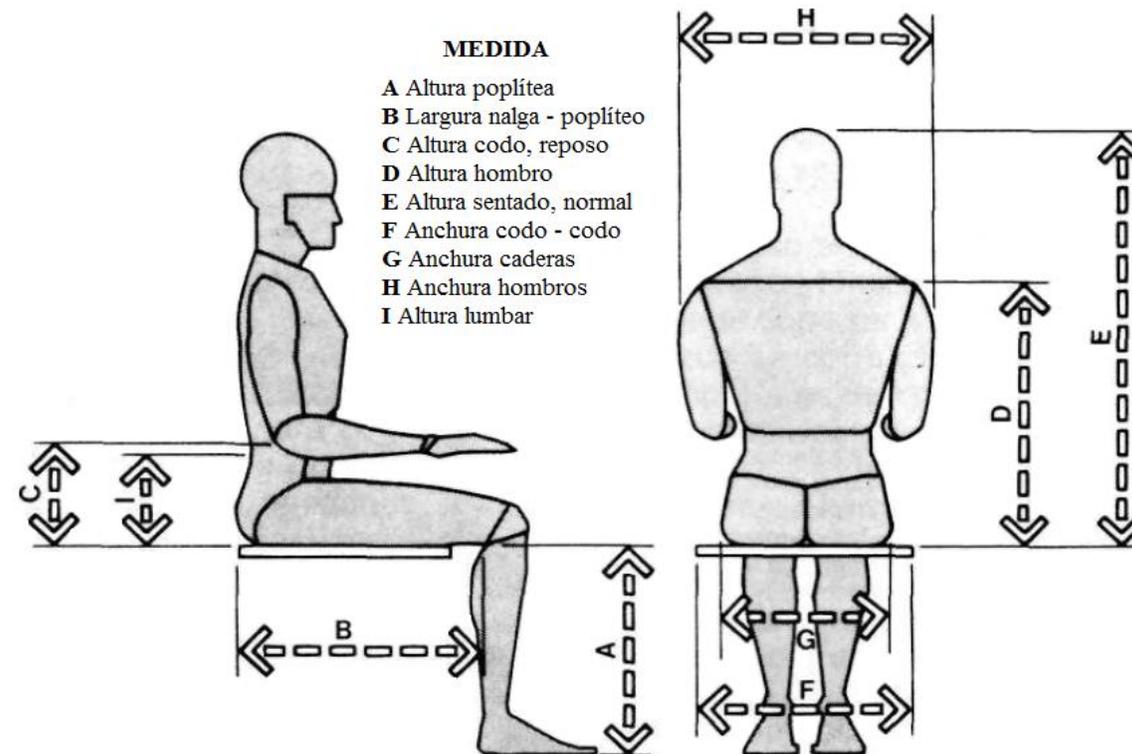


Figura 8. Dimensiones antropométricas fundamentales para el diseño de asientos. (Panero & Zelnik, 1996)

Branton (1966) menciona que, mientras se está sentado, aproximadamente el 75 % del peso corporal es soportado por 26 cm² de las tuberosidades isquiáticas (figura 9), generando compresiones considerables en los glúteos con valores entre 6 y 7 kg/cm² (Tichauer, 1978).

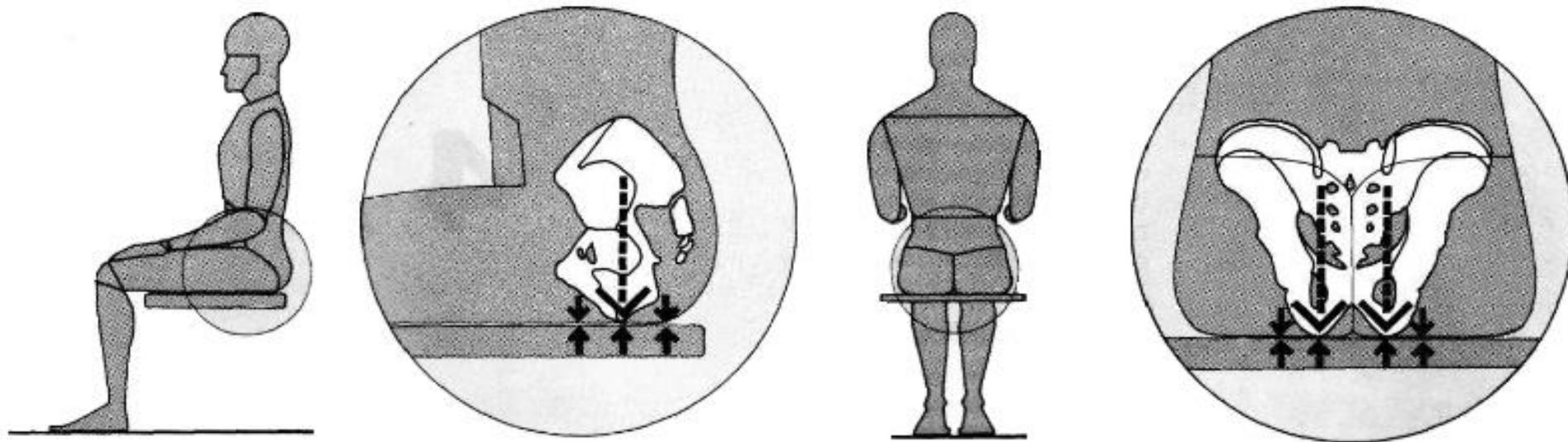


Figura 9. Tuberosidades isquiáticas (Panero & Zelnik, 1996)

El soporte lumbar ayuda a estabilizar la pelvis y permite mantener la lordosis de esta región. Al permitir que las curvaturas de la espalda coincidan con las del asiento, se ocasiona una restricción a las posturas del pasajero, induciéndole a que adopte una postura adecuada pero cómoda a la vez (Jianghong & Long, 1994).

Según Franz et al. (2012), el soporte cervical influye significativamente en el confort del usuario durante un viaje de largo recorrido, para el caso del conductor de automóvil se experimentó con un soporte cervical abatible mostrado en la figura 10.



Figura 10. Reposacabeza con soporte cervical en diferentes posiciones. (Franz et al., 2012)

El método

1. Dimensionamiento de las curvaturas fisiológicas de la columna vertebral.

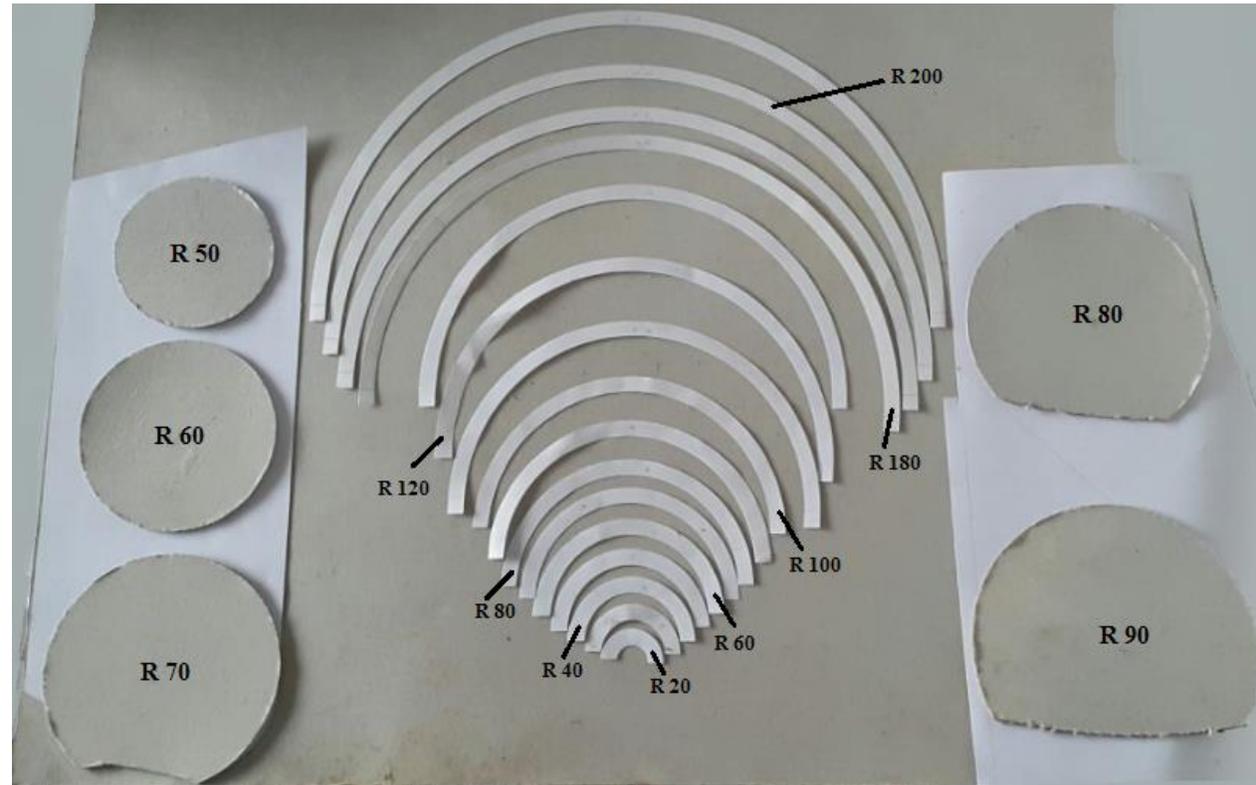


Figura 11. Semicírculos utilizados para la recreación de las curvaturas de la columna vertebral. Autor, 2018.

2. Participantes.

Tabla 1
Características de los participantes

Participantes	n	Edad (años)		Estatura (cm)		Peso (kg)	
		Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.
Masculinos	18	33.8	10.6	168.4	7.3	76.7	13.5
Femeninas	14	31.1	9.1	154.0	7.0	60.1	8.1

Nota: Autor, 2018.

Estudios:

- Corlett E. & Bishop R., 1976. *A Technique for Assessing Postural Discomfort*. Industrial Ergonomics (3 participantes, escala de incomodidad, 1 sesión de 45 min).
- Kolich M. & Taboun S., 2004. *Ergonomics modelling and evaluation of automobile seat comfort*. Ergonomics (17 participantes, esteras de presión, escala de incomodidad, 1 sesión de 30 min).
- Kyunga G., Nussbaum M. & Babski K., 2008. *Driver sitting comfort and discomfort (part I): Use of subjective ratings in discriminating car seats and correspondence among ratings*. Industrial Ergonomics (27 participantes, escala de comodidad e incomodidad, 6 sesiones de 15 min).
- Franz et al., 2012. *Comfort effects of a new car headrest with neck support*. Applied Ergonomics (11 participantes, escala de incomodidad, 2 sesiones de 15 min).
- Mansfield N., Sammonds G. & Nguyen L., 2015. *Driver discomfort in vehicle seats*. Applied Ergonomics (10 participantes, escala de incomodidad, 2 sesiones de 30 min).
- Rhimi A., 2017. *Concepts for the reduction of the discomfort generated by the prolonged static posture during the driving task, part II: Experiments and validations*. Industrial Ergonomics (8 participantes, escala de incomodidad, 6 sesiones de 15 min).

3. Datos antropométricos.

Tabla 2

Datos antropométricos de la población ecuatoriana y colombiana

Datos antropométricos							
Dimensión	Percentil	Población Ecuatoriana			Población Colombiana		
		Valor (cm)	Media	D. E.	Valor (cm)	Media	D. E.
Masa Corporal (kg)	95	95.2	71.9	9.07	87.8	69.8	10.4
Estatura	95	177.1	165.2	5.05	179.2	168.8	6.5
Altura sentado normal	95	91.1	86.61	2.73	91.8	86	3.5
Altura sentado erguido	95	92.93	88.82	2.5	94	88.6	3.21
Altura acromial del hombro	95	65.76	62.34	2.08	63.2	58.8	2.74
Altura radial del codo en reposo	5	23.18	27.59	2.69	19	22.9	2.22
Altura del muslo	50	12.53	12.53	1.24	15	14.9	1.24
Altura de la fosa poplítea	5	37.38	40.99	2.19	35.1	38.3	2.09
Anchura codo a codo	95	49.58	43.97	3.41	52.3	44.6	4.44
Anchura de las caderas	95	37.91	33.74	1.79	42.5	37.3	3.13
Largura glúteo - fosa poplítea	5	42.98	46.86	2.36	42	46.1	2.62

Nota: Freire et al., 2014; Palacios, 2015; Avila, Prado & González, 2015.

4. Normativa.

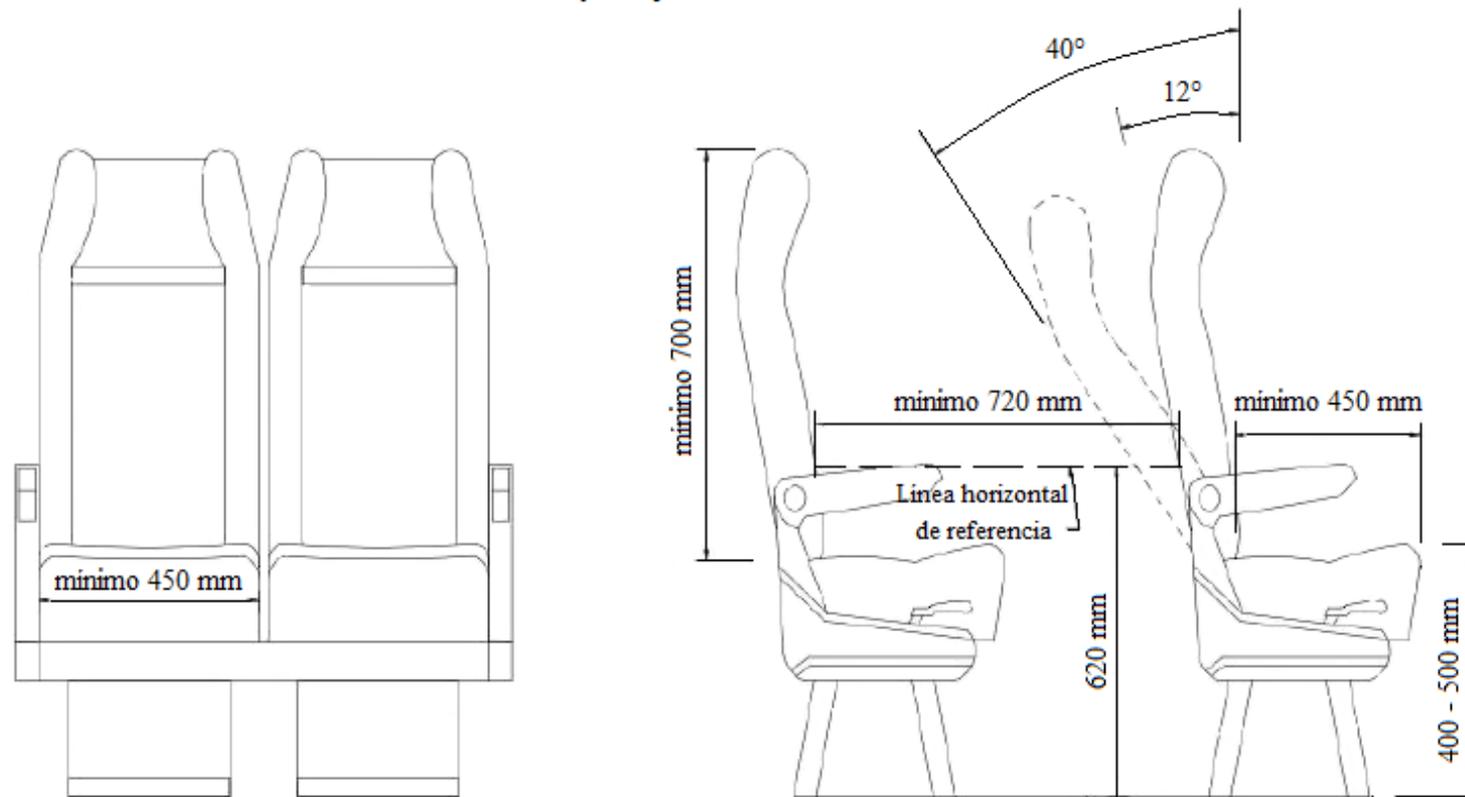
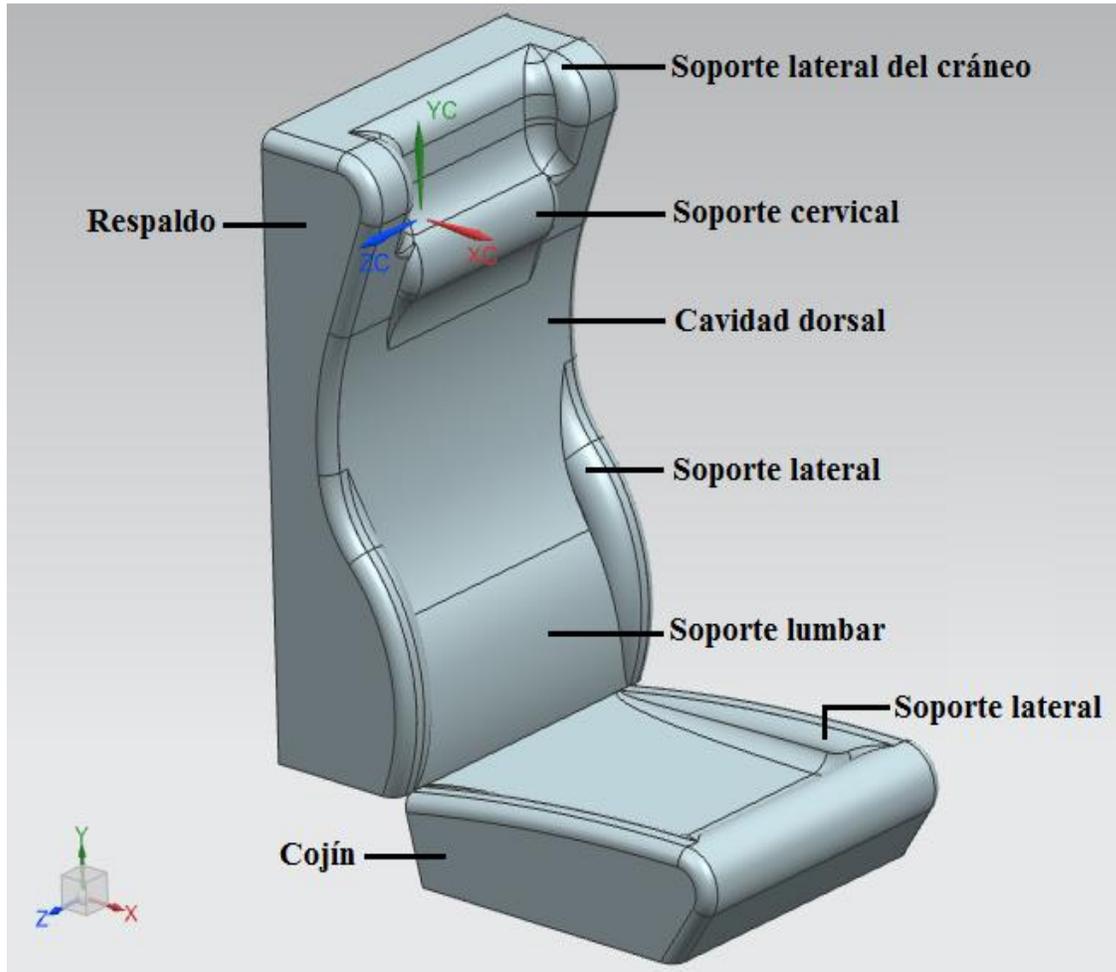


Figura 12. Dimensiones del asiento de pasajero para bus intrarregional e interprovincial. INEN, 2015.

5. Modelado y construcción de asiento prototipo de prueba.



Leyenda:

A y B: Respaldo base C: Espuma prensada D: Espuma de poliuretano de 2 cm
E: Respaldo del asiento prototipo de prueba construido



Leyenda:

A: Estructura para asiento prototipo
B: Espuma de poliuretano de 2 cm
C: Espuma prensada

Figura 13. Modelo y construcción del asiento prototipo de prueba. Autor, 2018.

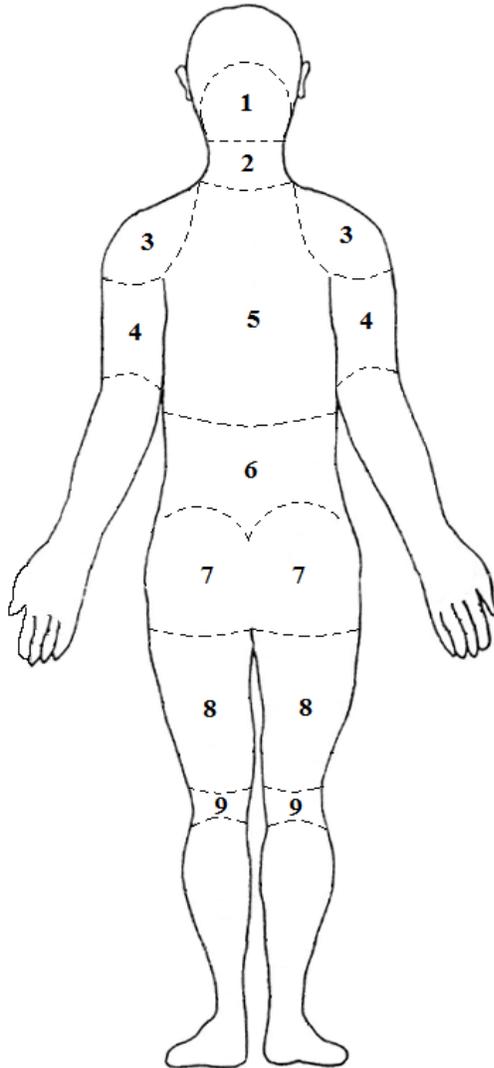
6. Toma de datos



Figura 14. Participante 1 en la toma de peso y estatura. Autor, 2018.

7. Prueba subjetiva.

Mapa posterior del cuerpo



Datos del participante

Nombre: _____		N° de cédula: _____	
Edad: ____ años.	Estatura: ____ cm.	Peso: ____ kg.	Firma: _____

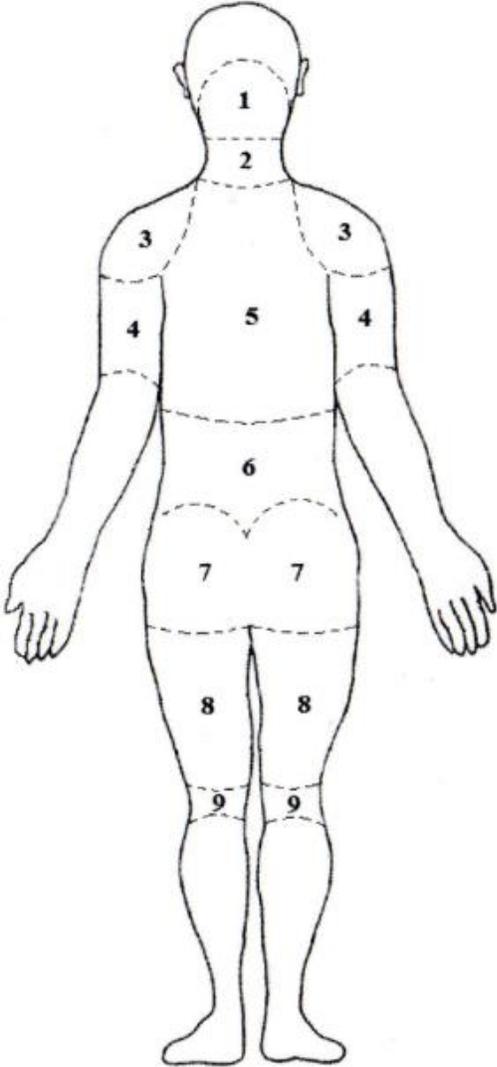
Escala de incomodidad	
Puntuación	Referencia
1	Nada incómodo
2	Apenas incómodo
3	Bastante incómodo
4	Muy incómodo
5	Extremadamente incómodo

N°	Región del cuerpo	Escala de incomodidad														
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
		105°					118°					130°				
1.	Occipital															
2.	Cervical															
3.	Deltoides															
4.	Brazos															
5.	Dorsal															
6.	Lumbar															
7.	Glúteos															
8.	Muslos															
9.	Poplíteas															

Figura 15. Mapa posterior del cuerpo y escala de incomodidad. Adecuación de: Corlett E. & Bishop R. (1976); Kolich M. & Taboun S.M. (2004); Kyunga G., Nussbauma M. & Babski-Reevesb K., 2008; Franz M. et al., 2012; Mansfield N., Sammonds G. & Nguyen L., 2015; Rhimi A. (2017); Li et al., 2017.

8. Etapas prueba subjetiva.

Mapa posterior del cuerpo



Datos del participante

Nombre: <u>Díaz Armando Ger Díaz</u>		N° de cédula: <u>040148833-3</u>	
Edad: <u>28</u> años.	Estatura: <u>187</u> cm.	Peso: <u>82</u> kg.	Firma: <u>[Firma]</u>

Escala de incomodidad	
Puntuación	Referencia
1	Nada incómodo
2	Apenas incómodo
3	Bastante incómodo
4	Muy incómodo
5	Extremadamente incómodo

N°	Región del cuerpo	Escala de incomodidad																	
		105°					118°					130°							
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
1.	Occipital				X	X	X					X		X				X	
2.	Cervical				X	X		X					X	X					X
3.	Deltoides					X	X							X	X				X
4.	Brazos		X			X		X					X		X			X	
5.	Dorsal			X		X		X					X		X				X
6.	Lumbar		X				X			X				X	X				X
7.	Glúteos	X			X			X			X			X				X	
8.	Muslos	X			X				X	X				X				X	
9.	Poplitea	X	X					X	X					X	X			X	

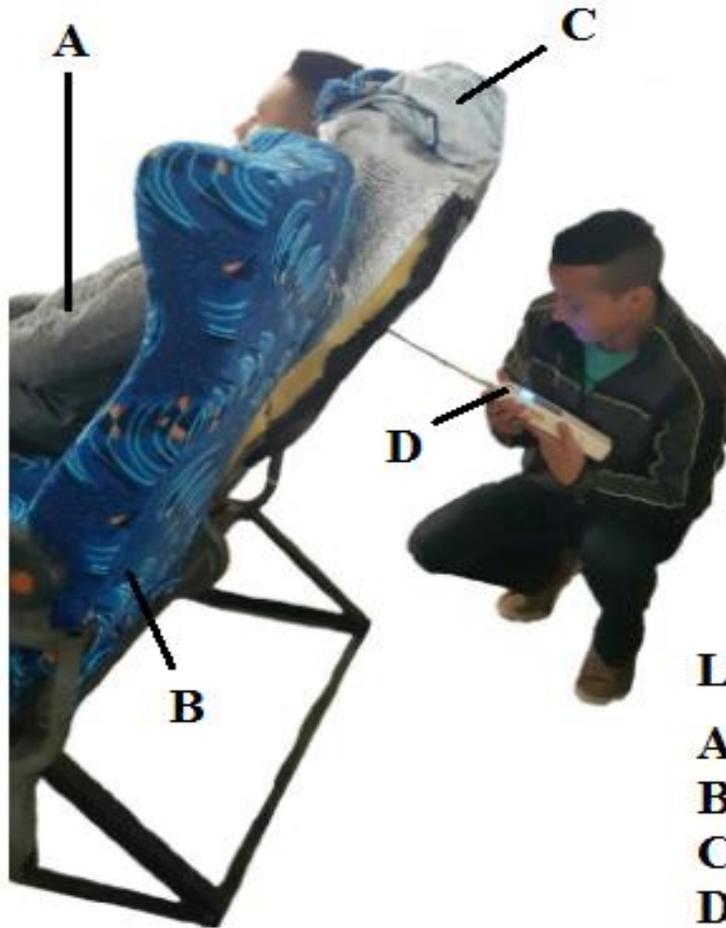
Figura 16. Etapas de la prueba subjetiva realizadas por los participantes (izquierda), resultados participante extremo más alto (derecha). Autor, 2018.

9. Prueba experimental.



Figura 17. Medidor digital de fuerza de empuje, modelo HF-200 con accesorios (derecha) y armado para medir la fuerza de empuje (izquierda). Autor, 2018.

10. Etapas prueba experimental.



Leyenda:

A: Participante

B: Asiento actual

C: Asiento prototipo

D: Medidor de fuerza de empuje

Figura 18. Ubicación de los agujeros distribuidos en el respaldo y el cojín del asiento (izquierda), medición de la fuerza ejercida por el participante extremo más alto (derecha). Autor, 2018.

11. Retroalimentación durante etapas de pruebas.

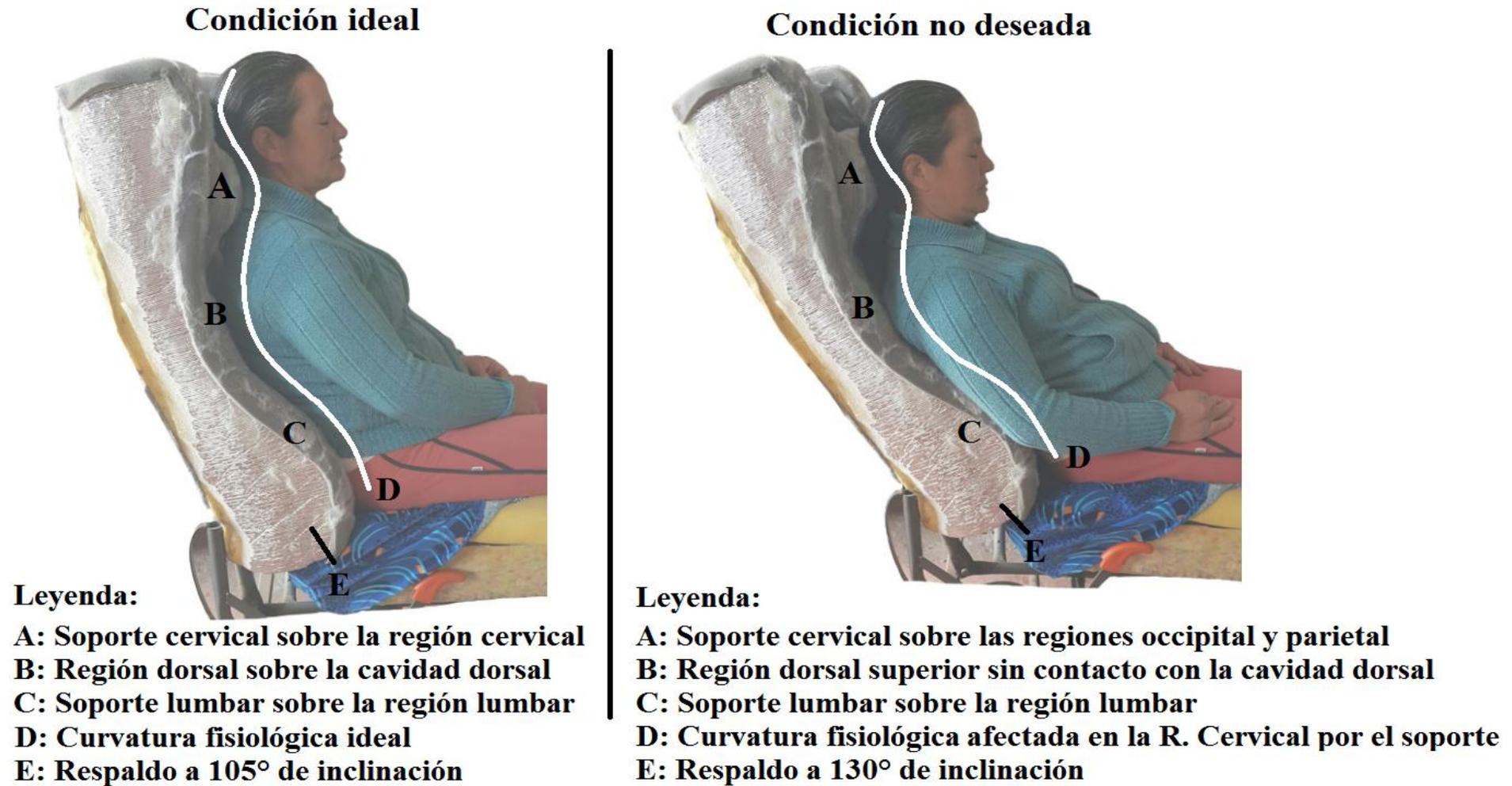


Figura 19. Condición ideal frente a la condición no deseada para el respaldo del asiento prototipo de prueba. Autor, 2018.

12. Retroalimentación durante etapas de pruebas.

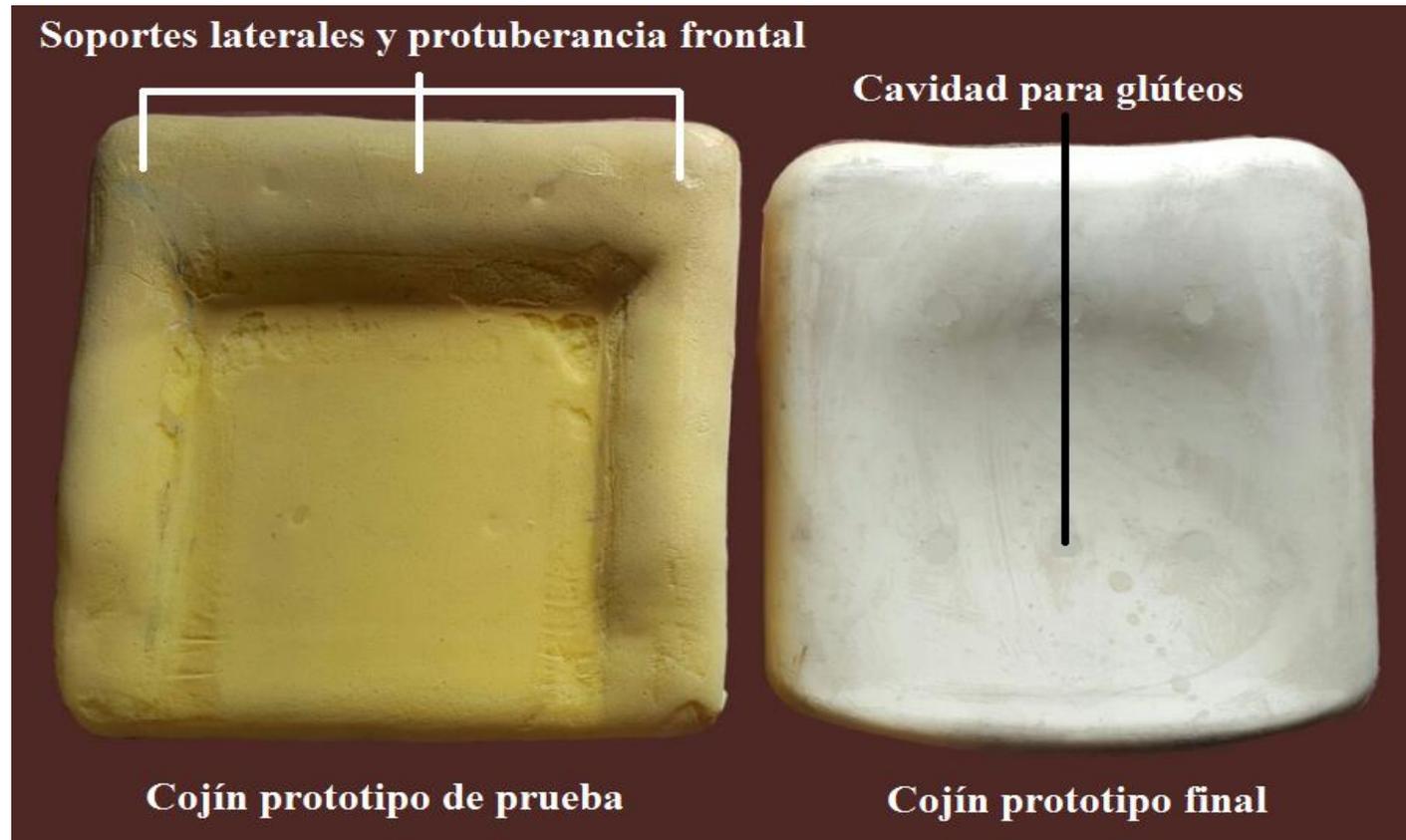
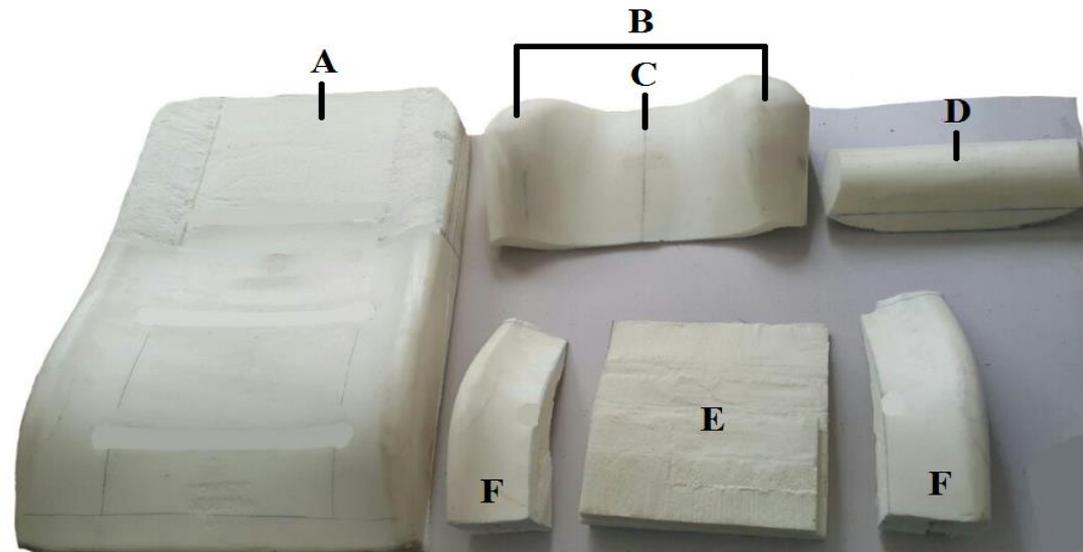
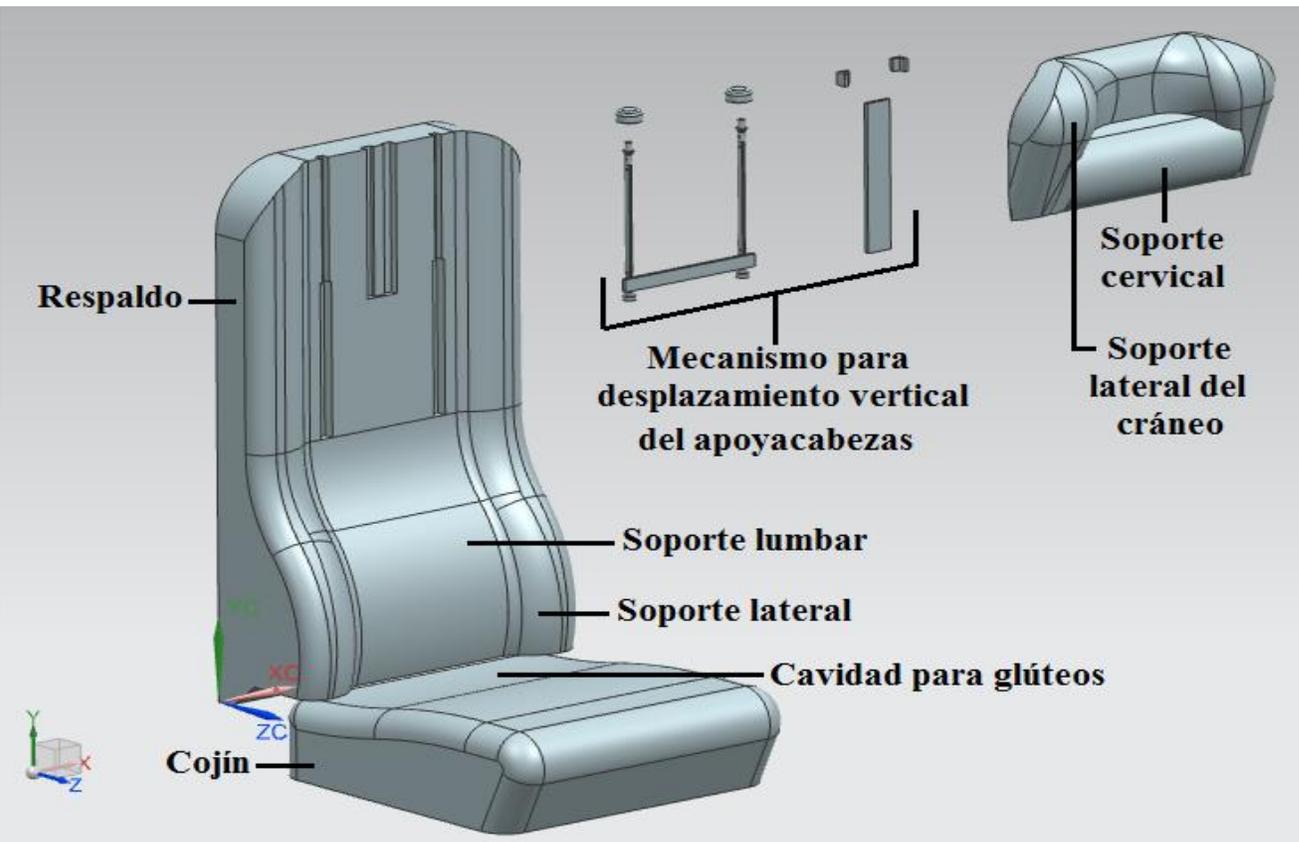


Figura 20. Cojín del asiento prototipo de prueba (izquierda) y cojín del asiento prototipo final (derecha). Autor, 2018.

13. Modelado y construcción de asiento prototipo final.



Leyenda:
A: Respaldo **B: Soportes laterales del cráneo**
C: Apoyacabezas **D: Soporte cervical**
E: Soporte lumbar **F: Soportes laterales**

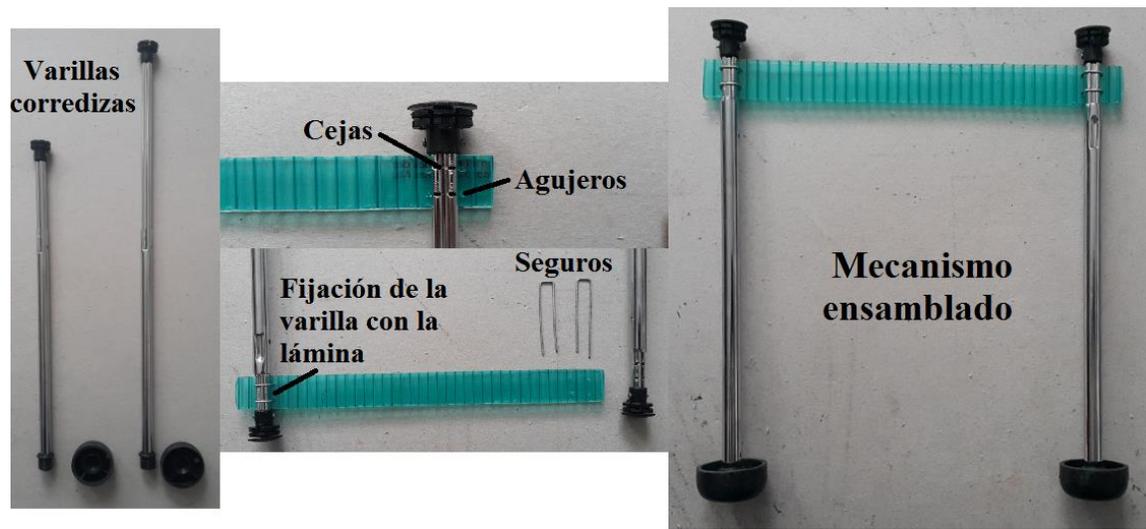


Figura 21. Modelado y construcción del asiento prototipo final. Autor, 2018.

14. Condiciones ideales asiento prototipo final.

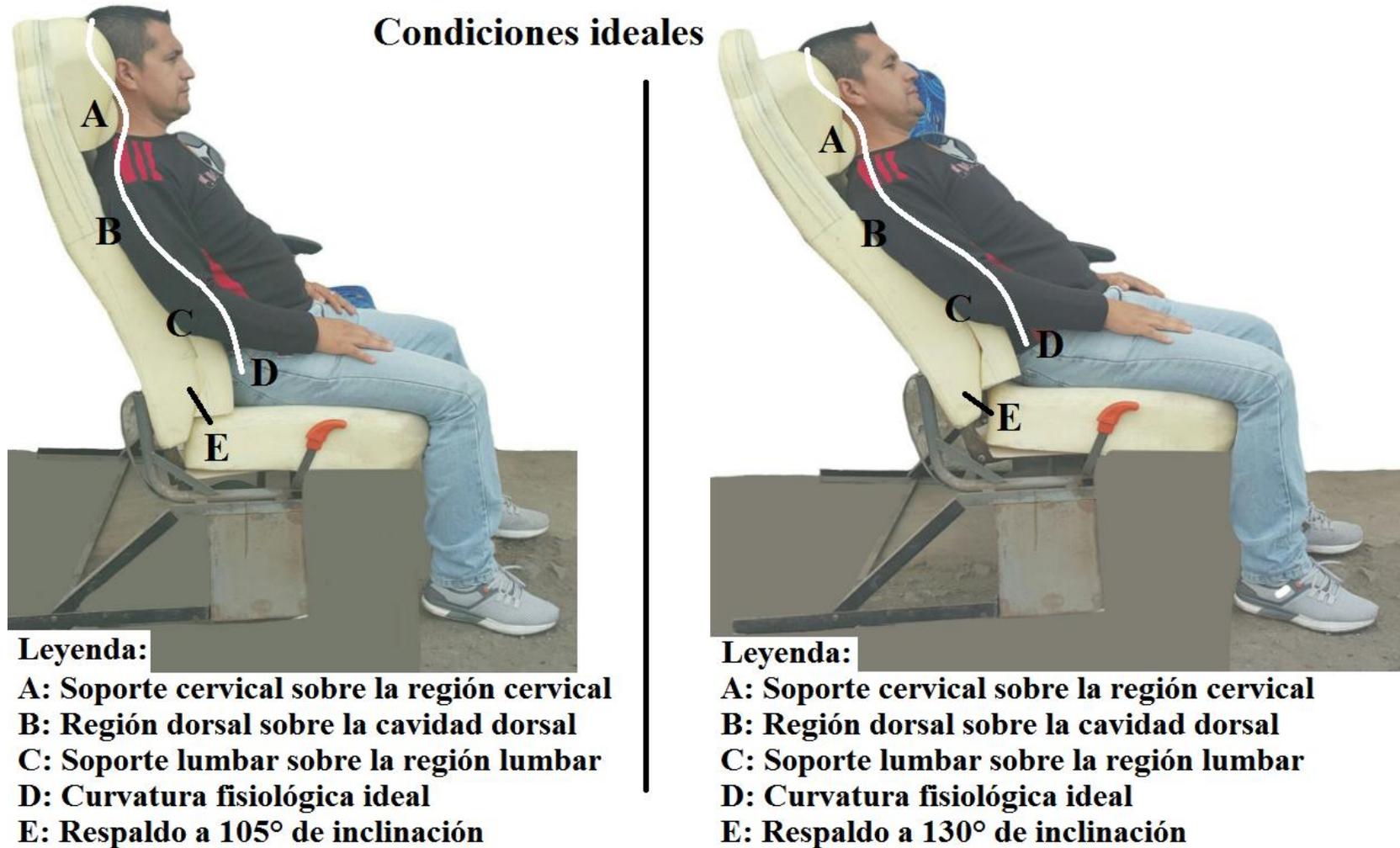


Figura 22. Condiciones ideales - asiento prototipo final. Autor, 2018.

15. Prueba experimental de validación.



Figura 23. Condiciones ideales - asiento prototipo final. Autor, 2018.

16. Ensayos mecánicos espuma de poliuretano de alta densidad.



Figura 24. Probetas de espuma de poliuretano de alta densidad para ensayos mecánicos. Autor, 2018.

17. Caracterización del material en el software.

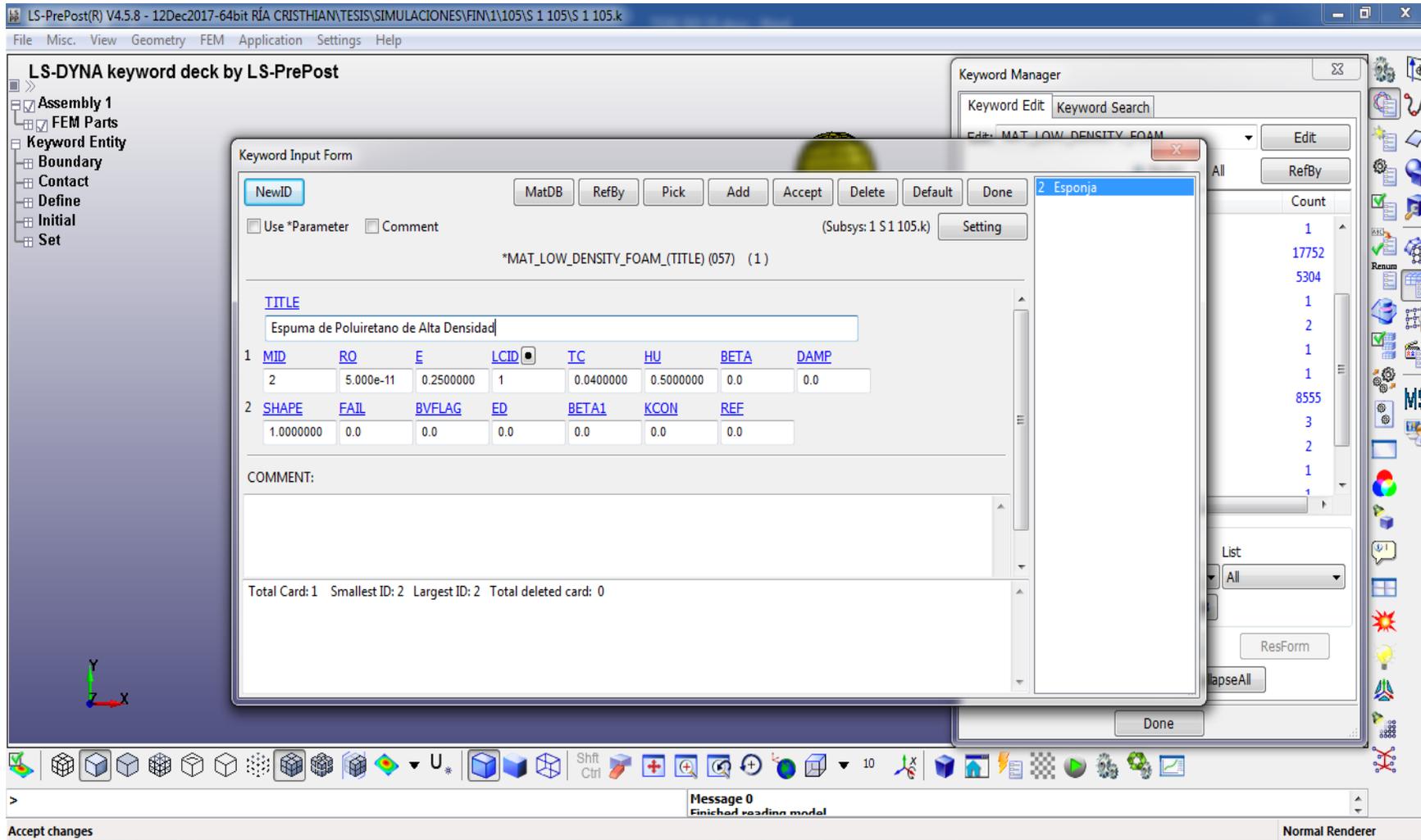


Figura 25. Caracterización de la Espuma de Poliuretano dentro de LS-Dyna. Autor, 2018.

18. Simulaciones.



Figura 26. Mallado de los tres asientos y maniqués. Autor, 2018.

19. Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico se utilizó StatGraphics. Se aplicó una prueba estadística al conjunto de datos de los asientos, obtenidos con el medidor digital de fuerza de empuje para la obtención de las medias y desviaciones estándar, respectivamente; posterior a ello, se aplicó una prueba de múltiples rangos para determinar si hubo o no, diferencia estadísticamente significativa entre los datos de los asientos con un nivel de confianza del 95 %. El método empleado para discriminar entre las medias, fue el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher con un riesgo del 5 %.

Resultados

Perfiles fisiológicos de la columna vertebral.

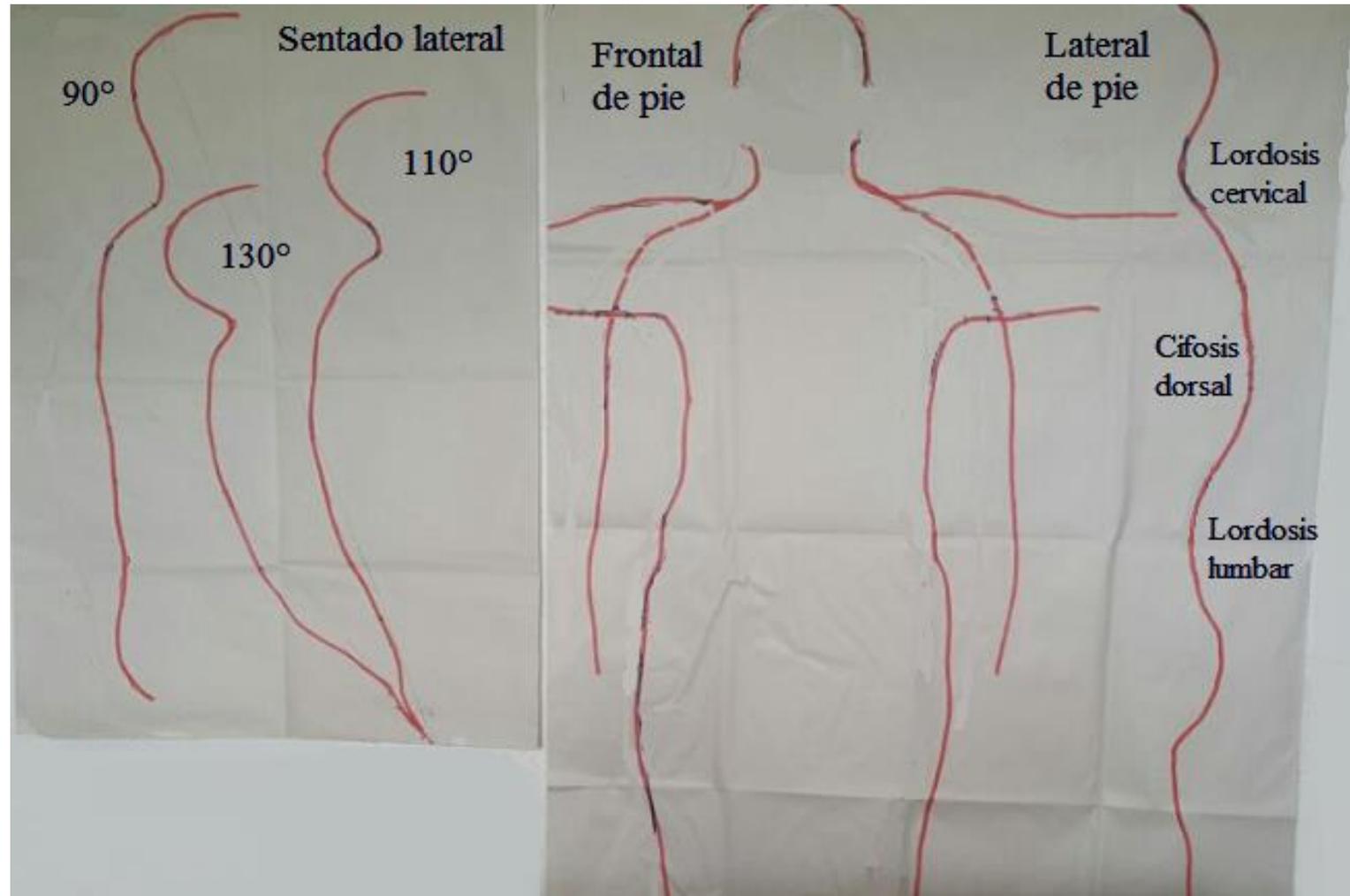


Figura 27. Perfiles de las curvaturas fisiológicas de la espalda (izquierda. Autor, 2018).

Dimensiones del perfil fisiológico de la espalda.

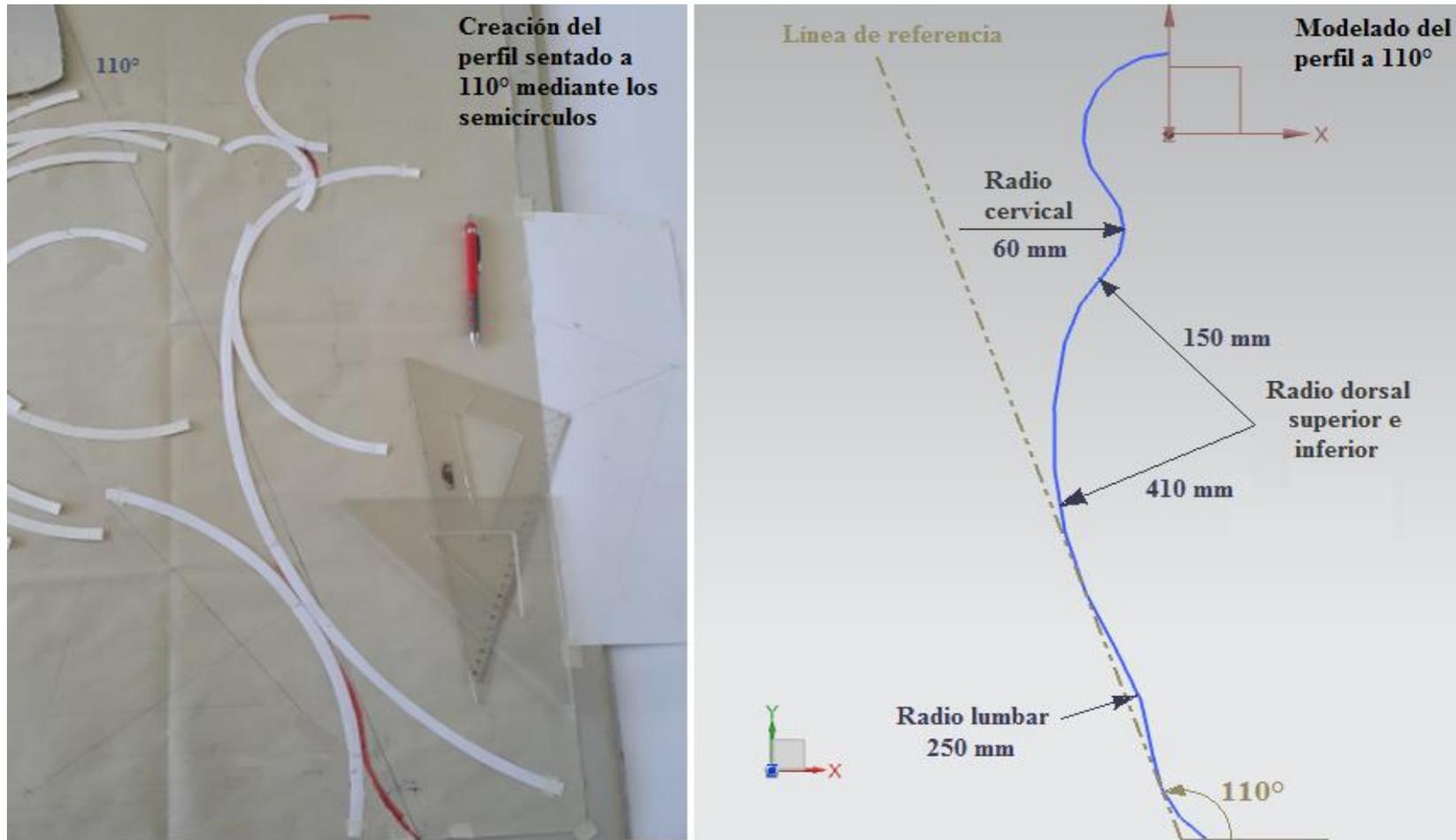


Figura 28. Perfil de la curvatura fisiológica de la espalda para 110° (izquierda) y modelado en el software CAD del perfil ideal con las dimensiones resultantes (derecha). Autor, 2018.

Dimensiones del respaldo y cojín del asiento de pasajero.

Tabla 3

Comparación entre las dimensiones resultantes sugeridas por este estudio y las establecidas por la normativa para el dimensionamiento del asiento de pasajero de bus interprovincial

Dimensión	Dimensiones recomendadas INEN NTE 1668	
	Valor (mm)	Valor (mm)
Ancho respaldo	500	< 450
Altura respaldo	800	< 700
Ancho cojín	470	< 450
Profundidad cojín	450	< 450
Altura cojín	420	400 - 500
Radio cervical	60	No especificado
Radio lumbar	250	No especificado
Radio dorsal superior	150	No especificado
Radio dorsal inferior	410	No especificado

Nota: Autor, 2018.

Asiento prototipo de pasajero propuesto.

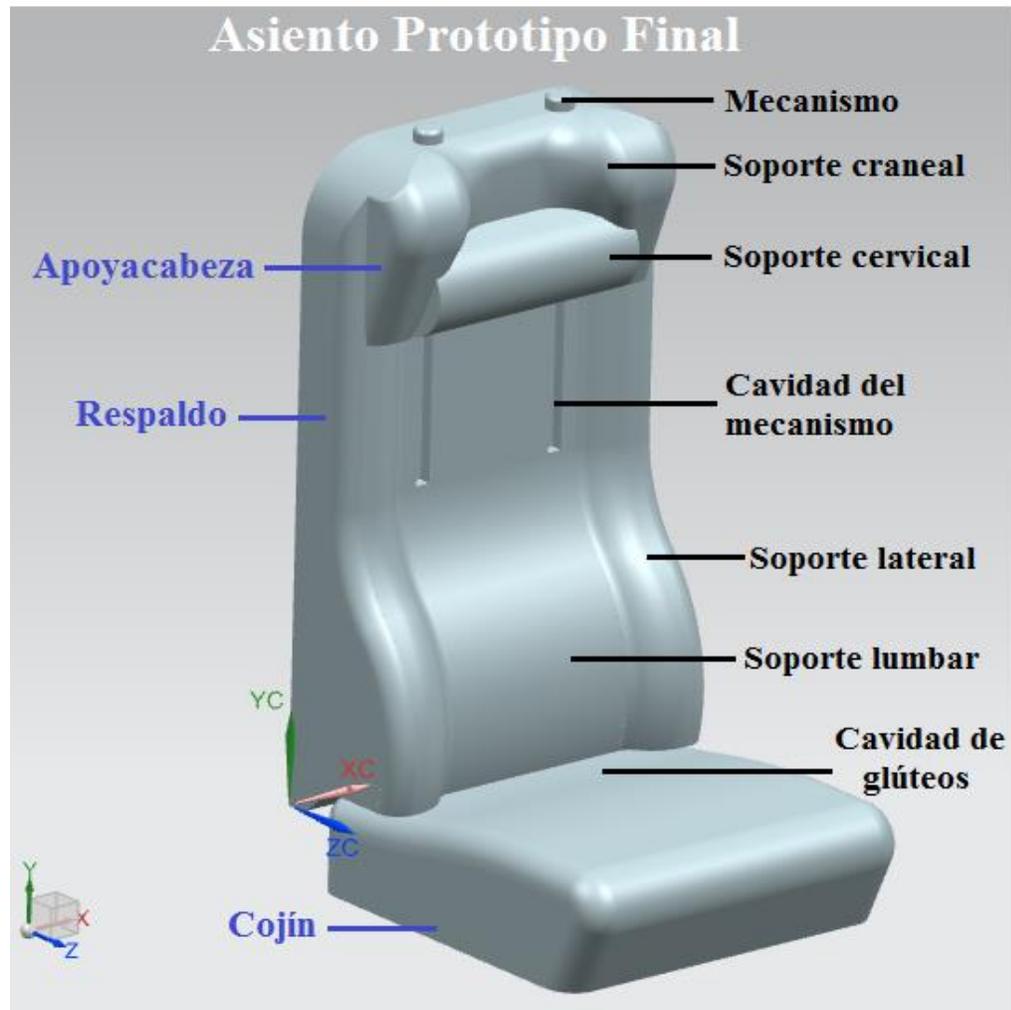


Figura 29. Asiento prototipo de pasajero propuesto. Autor, 2018.

Escala de incomodidad 105°.

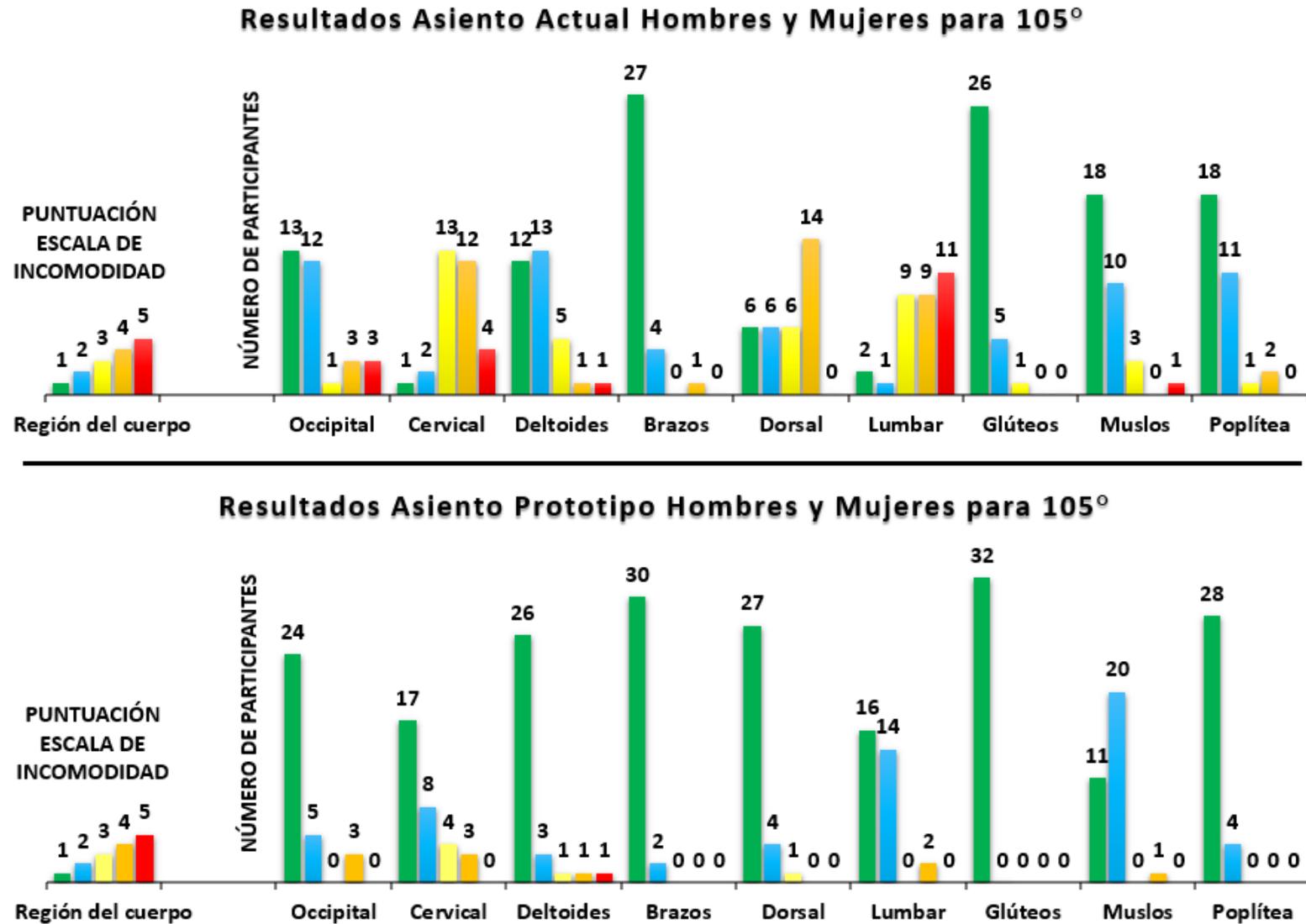


Figura 30. Resultados del grado de incomodidad entre el asiento prototipo y el asiento actual para 105°. Autor, 2018.

Escala de incomodidad 118°.

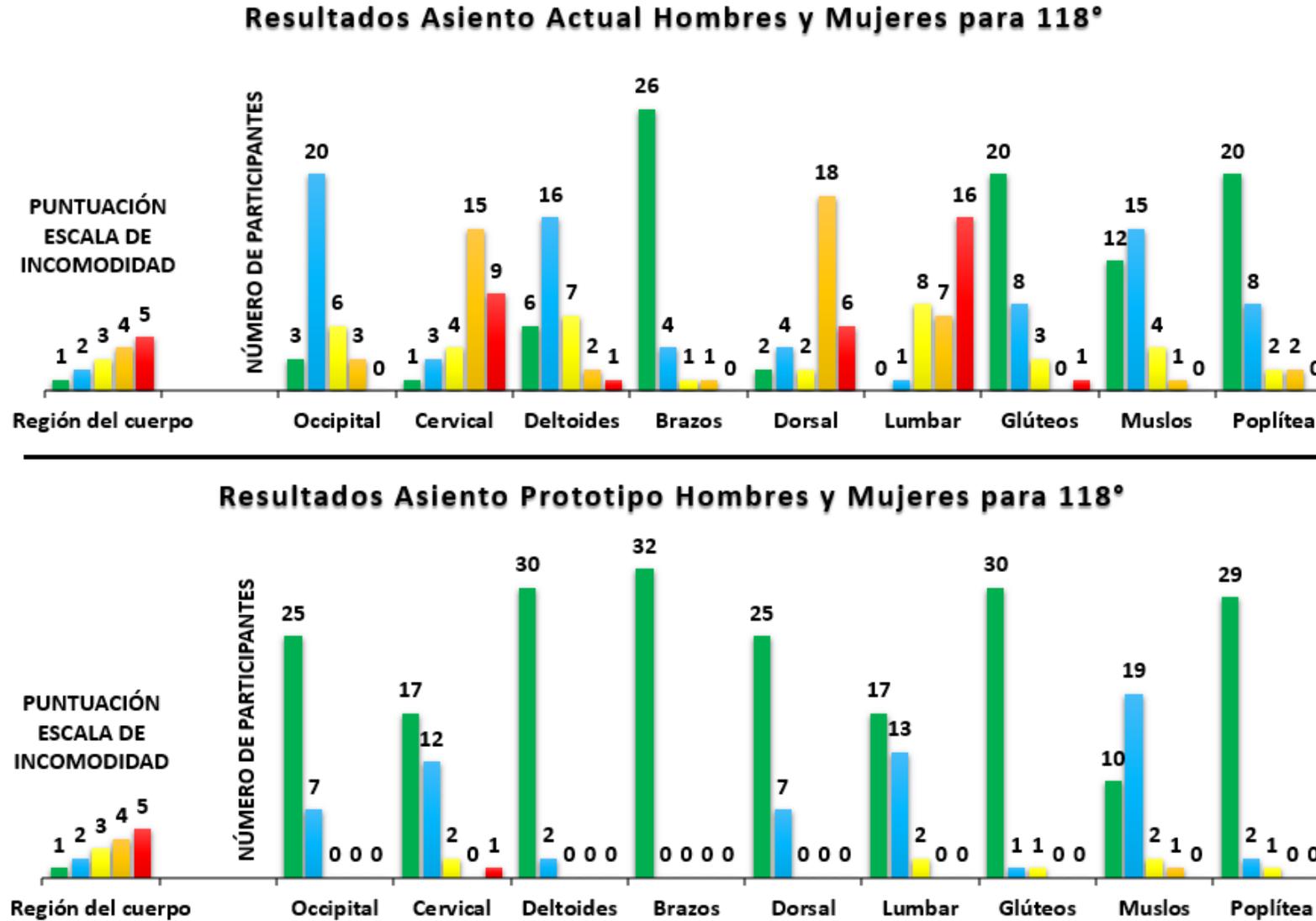


Figura 31. Resultados del grado de incomodidad entre el asiento prototipo y el asiento actual para 118°. Autor, 2018.

Escala de incomodidad 130°.

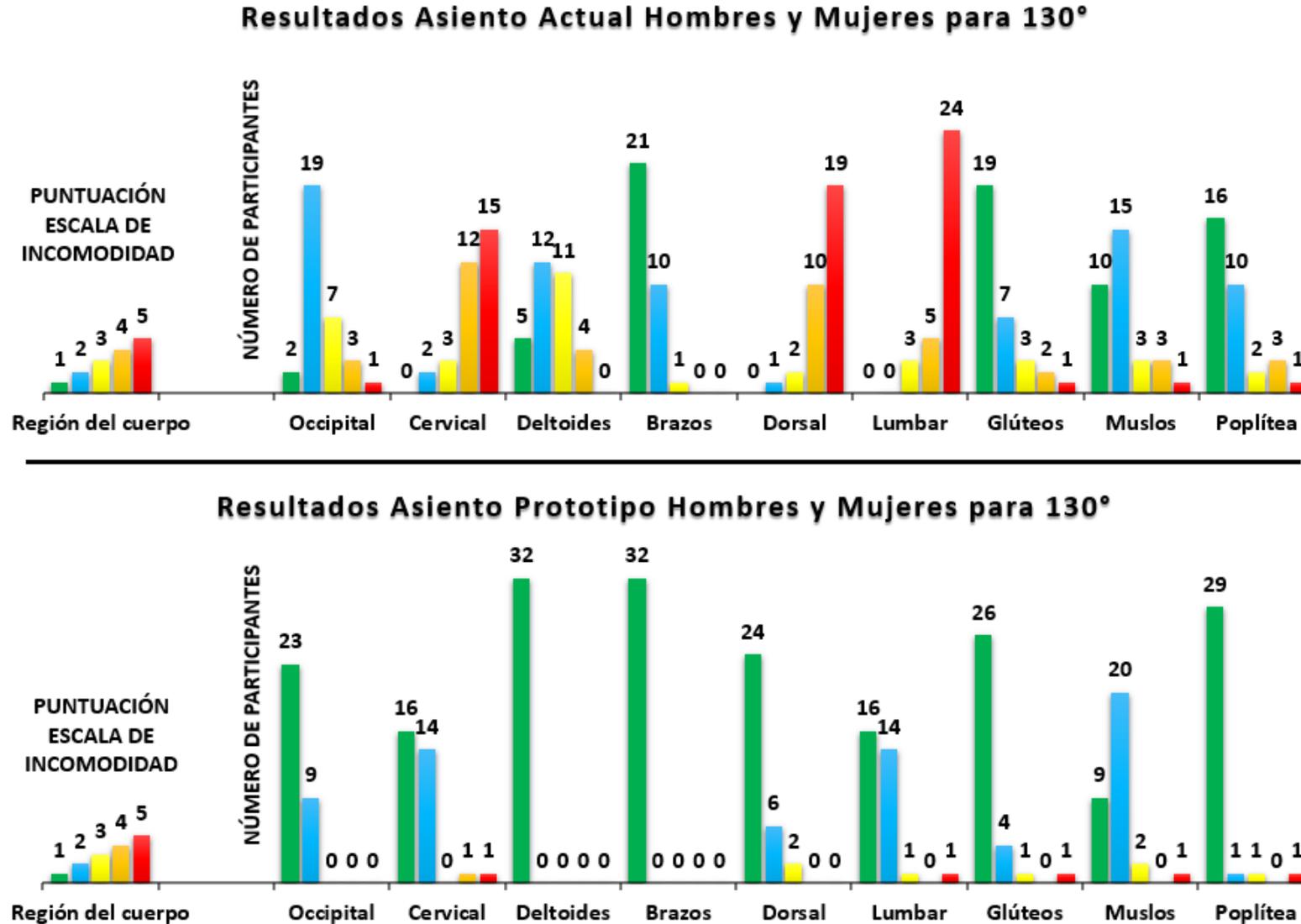


Figura 32. Resultados del grado de incomodidad entre el asiento prototipo y el asiento actual para 130°. Autor, 2018.

Discusión escala de incomodidad.

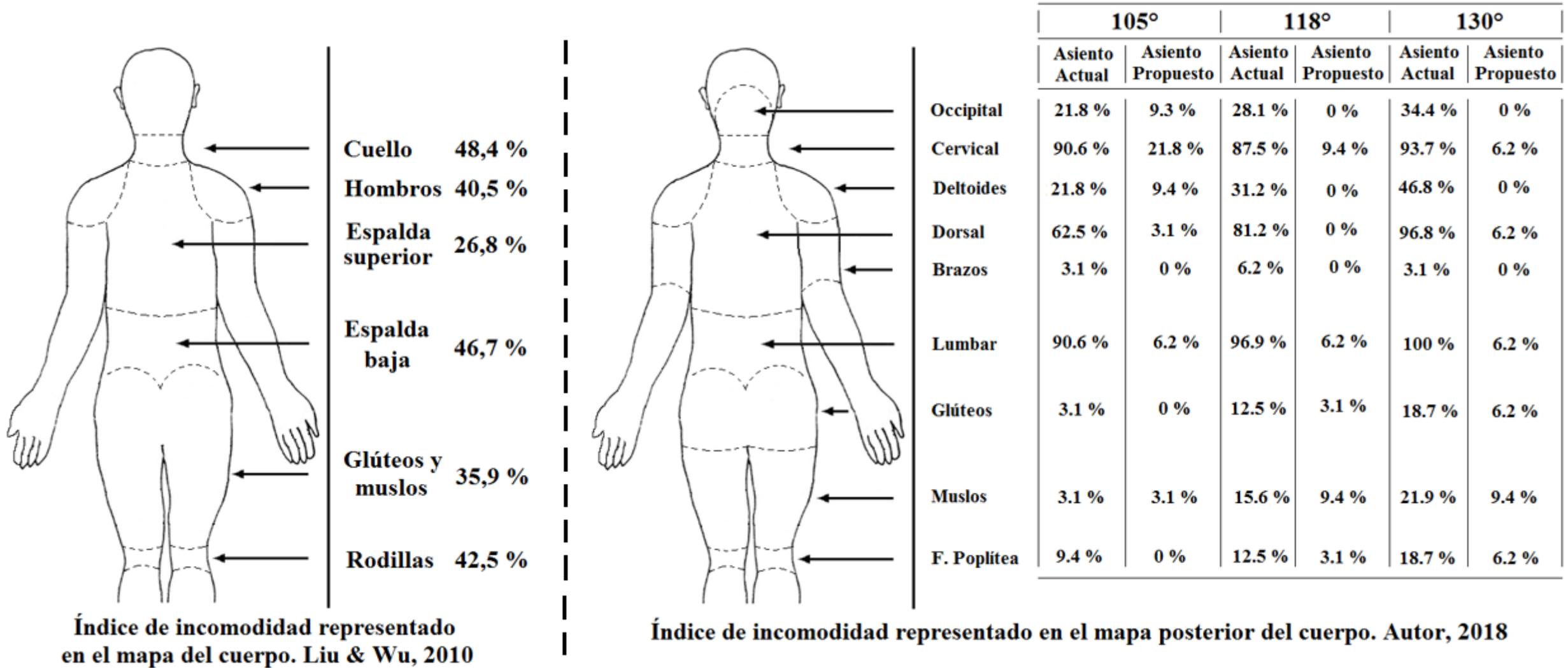


Figura 33. Comparación de los resultados obtenidos en la escala de incomodidad. Autor, 2018.

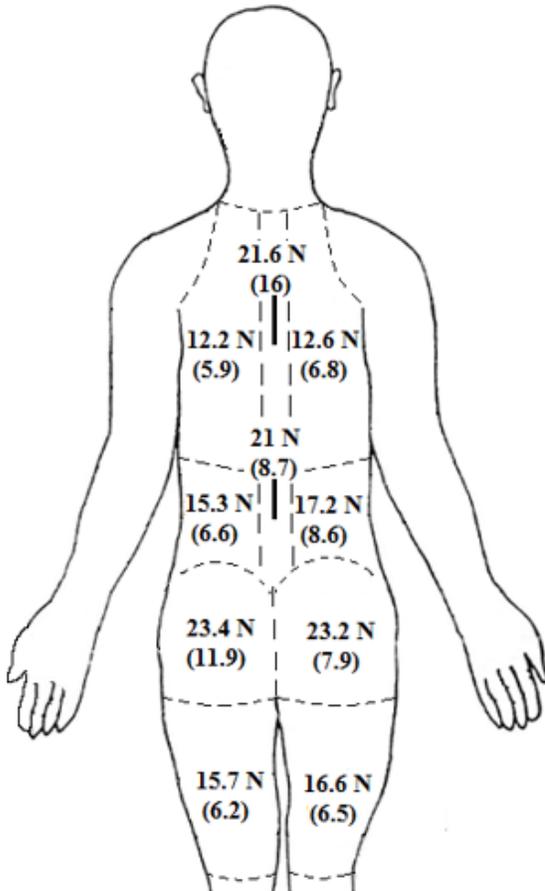
Fuerza ejercida - Prueba estadística de múltiples rangos.

Tabla 4
Prueba de múltiples rangos

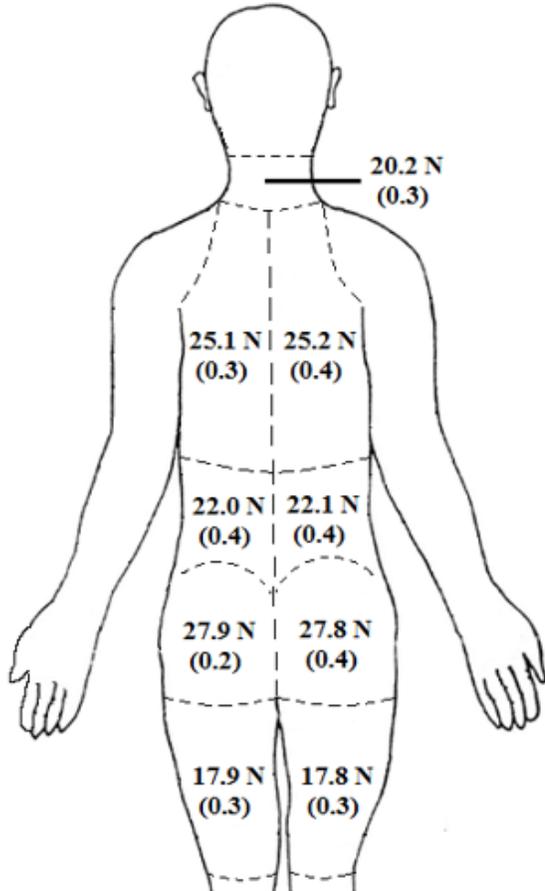
Asiento	Región	Media (N)	D. E.	Grupos Homogéneos
Prototipo Final		13.98	0.38	X
Prototipo de Prueba	Cervical	15.86	0.27	X
Actual		20.22	0.26	X
Prototipo Final	Dorsal 2	20.04	0.48	X
	Dorsal 1	20.14	0.30	X
Prototipo de Prueba	Dorsal 1	22.26	0.81	X
	Dorsal 2	22.46	0.72	X
Actual	Dorsal 2	25.14	0.30	X
	Dorsal 1	25.24	0.24	X
Prototipo Final	Lumbar 2	15.9	0.43	X
	Lumbar 1	15.94	0.44	X
Prototipo de Prueba	Lumbar 1	17.78	0.63	X
	Lumbar 2	17.9	0.41	X
Actual	Lumbar 2	22.04	0.22	X
	Lumbar 1	22.16	0.21	X
Prototipo Final	Glúteo 1	24.7	0.41	X
	Glúteo 2	24.76	0.29	X
Prototipo de Prueba	Glúteo 2	26.36	0.25	X
	Glúteo 1	26.5	0.48	X
Actual	Glúteo 1	27.88	0.31	X
	Glúteo 2	27.92	0.27	X
Prototipo Final	Muslo 2	14.7	0.31	X
	Muslo 1	14.82	0.31	X
Prototipo de Prueba	Muslo 2	16.54	0.38	X
	Muslo 1	16.72	0.48	X
Actual	Muslo 1	17.88	0.19	X
	Muslo 2	17.92	0.34	X

Nota: Autor, 2018

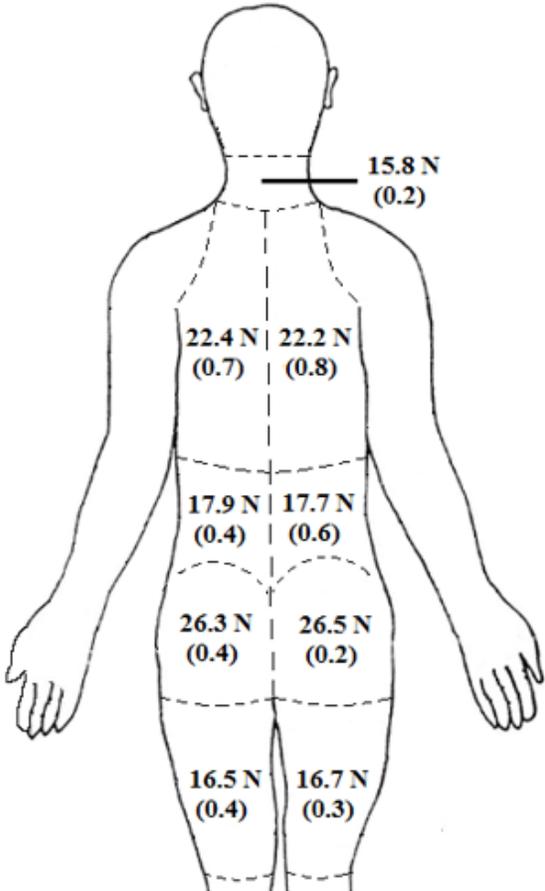
Discusión fuerza ejercida.



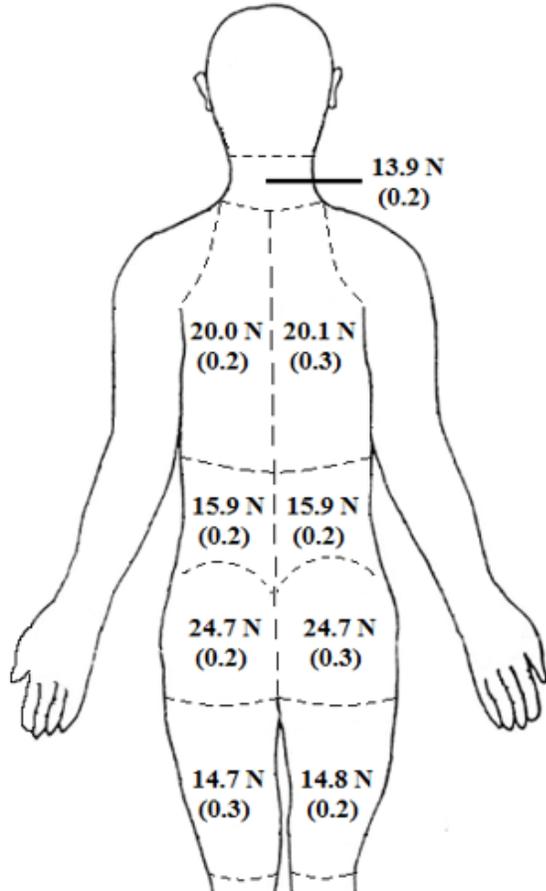
Valores de la fuerza ejercida. Vink & Lips, 2017



a) Asiento Actual



b) A. Prototipo de Prueba



c) A. Prototipo Final

Distribución de la fuerza ejercida por las cinco regiones posteriores. Autor, 2018

Figura 34. Comparación de los resultados obtenidos con el medidor digital de fuerza de empuje. Autor, 2018.

GRACIAS
POR SU
ATENCIÓN