

**ARTEFACTO PARA EL FAVORECIMIENTO DE LA ACTIVIDAD ALIMENTARIA
EN LA POBLACIÓN INFANTIL CON ESPASTICIDAD MANUAL ORIGINADA
POR LA PARÁLISIS CEREBRAL**

OSCAR MAURICIO RUEDA GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2016

**ARTEFACTO PARA EL FAVORECIMIENTO DE LA ACTIVIDAD ALIMENTARIA
EN LA POBLACIÓN INFANTIL CON ESPASTICIDAD MANUAL ORIGINADA
POR LA PARÁLISIS CEREBRAL**

OSCAR MAURICIO RUEDA GONZÁLEZ

Trabajo de grado para optar por el título de Diseñador Industrial

**Director:
FRANCISCO ESPINEL CORREAL
Magíster en Diseño Industrial**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA**

2016

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	16
1.2 PREGUNTA DE DISEÑO	17
1.3 OBJETIVOS.....	18
1.4 MARCO TEÓRICO	18
1.5 ANÁLISIS DE SOLUCIONES EXISTENTES	31
2. ANÁLISIS DE TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN FÍSICA	41
2.1 VIABILIDAD Y ALCANCES DE LAS TÉCNICAS RESEÑADAS.....	41
2.2 DEFINICIÓN Y ARTICULACIÓN DE UNA TÉCNICA DE REHABILITACIÓN FÍSICA	43
3. ANÁLISIS DE NECESIDADES	46
3.1 ANÁLISIS DEL CONTEXTO.....	46
3.2 ESPECIFICACIONES DEL ARTEFACTO PARA LA ASISTENCIA ALIMENTARIA DE LA POBLACIÓN CON PCI.....	58
4. CONCEPTUALIZACIÓN DEL ARTEFACTO	63
4.1 ALTERNATIVAS DE DISEÑO	65
4.2 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	71
4.3 DISEÑO DE DETALLE	82
4.4 CONSTRUCCIÓN DEL ARTEFACTO	92
5. EVALUACIÓN DEL ARTEFACTO	97
5.1 COMPROBACIÓN MECÁNICA VIRTUAL	97
5.2 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN	98
BIBLIOGRAFÍA.....	110

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. De izquierda a derecha, presa palmar y presa digital	23
Figura 2. Patrones espásticos más comunes en la mano. De izquierda a derecha flexo de muñeca, pulgar incluido en palma y dedos en garra.	24
Figura 3. Cuchara flexible con soporte UPAL020026	33
Figura 4. Flexible Paediatric Cutlery	33
Figura 5. S'up Spoon	34
Figura 6. Nelson Eater/Feeding Device	34
Figura 7. Prosthetic hands developed by Lehigh University students	35
Figura 8. Hand fitness trainer	35
Figura 9. Saeboglove	36
Figura 10. Gloreha Glove	36
Figura 11. Anti-Spasticity Ball Splint	37
Figura 12. Preformed Anti-Spasticity Hand Splint	38
Figura 13. Anti-spasticity hand immobilisation splint	38
Figura 14. Omnipro Flex Mano WHFO	38
Figura 15. Movilización articular planteada	44
Figura 16. Pasos para estimular la apertura de la mano de un niño con PCI espástica previo a una movilización articular	45
Figura 17. Población con PCI espástica efectuando la actividad alimentaria.	48
Figura 24. Acciones efectuadas durante el desarrollo de la actividad alimentaria.	63
Figura 25. Esquema de acciones propuesto para el uso del artefacto	64
Figura 26. Esquema para la generación de alternativas.	65
Figura 27. Variables antropométricas utilizadas para dimensionar el artefacto	66
Figura 28. Descripción gráfica de la alternativa 1	67

Figura 29. Descripción gráfica de la alternativa 2	69
Figura 30. Descripción gráfica de la alternativa 3	70
Figura 31. Descripción del funcionamiento de la alternativa 3	71
Figura 32. Simulación mecánica de la alternativa 1	73
Figura 33. Simulación mecánica de la alternativa 2	74
Figura 34. Simulación mecánica de la alternativa 3	74
Figura 35. Modelos de comprobación de las alternativas planteadas.....	76
Figura 36. Realización del ciclo de acciones planteado con un modelo propuesto	77
Figura 37. Comprobación de uso referente a la aprehensión del esquema de uso	77
Figura 38. Comprobación de uso referente al número de errores durante el ciclo de actividad.....	79
Figura 39. Escala visual análoga para referir el dolor presentado durante el ciclo de actividad.....	80
Figura 40. Dolor referido tras la manipulación de las alternativas planteadas.	80
Figura 41. Modificaciones en la elevación del mango del artefacto	83
Figura 42. Modificaciones en la superficie de las palas que dosifican el alimento.	83
Figura 43. Elemento de sujeción de las piezas del mango	84
Figura 44. Descripción gráfica del artefacto propuesto	85
Figura 45. Dimensiones generales del artefacto propuesto	86
Figura 46. Descripción de la secuencia de uso del artefacto	87
Figura 47. Planteamiento final de las piezas del mango del artefacto	89
Figura 48. Moldes generados para realizar las palas del artefacto	89
Figura 49. Nombre y esquema de color de la solución propuesta	90
Figura 50. Imagotipo y empaque de la solución propuesta.....	91
Figura 51. Impresora 3D Dimension elite.....	93
Figura 52. Resultado de la impresión 3D de las piezas y moldes de artefacto	94
Figura 53. Inyección de la silicona en los moldes propuestos	94
Figura 54. Molde de la pala unido al mango del artefacto	95
Figura 55. Pala en silicona unida al mango del artefacto.....	95

Figura 56. Modelo funcional del artefacto propuesto	96
Figura 57. Comprobación mecánica del artefacto propuesto.....	97
Figura 58. Protocolo general de evaluación del artefacto	99
Figura 59. Descripción del recorrido angular medido.....	101
Figura 60. Goniómetro empleado para la verificación funcional del artefacto.....	101
Figura 61. Diferencia de ángulos de reacción muscular antes y después de la actividad alimentaria	102
Figura 62. Cumplimiento del ciclo de actividad alimentario asistido por el cubierto tradicional	104
Figura 63. Cumplimiento del ciclo de actividad alimentario asistido por el artefacto propuesto.....	104
Figura 64. Errores registrados durante el uso de la cuchara y el artefacto propuesto.....	105
Figura 65. Escala de valoración subjetiva del uso del artefacto propuesto.....	106
Figura 66. Retroalimentación dada por los participantes sobre el uso del artefacto	107

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Fases evolutivas de la espasticidad.....	22
Tabla 2. Soluciones orientadas a permitir la actividad alimentaria.....	33
Tabla 3. Soluciones orientadas a permitir la rehabilitación funcional de la mano de manera dinámica	35
Tabla 4. Soluciones orientadas a permitir la rehabilitación funcional de la mano de manera estática	36
Tabla 5. Viabilidad emitida por profesionales en el tratamiento de la espasticidad sobre las diferentes técnicas utilizadas como tratamiento físico de este desorden motor.....	41
Tabla 6. Descripción de la actividad alimentaria del participante 1	49
Tabla 7. Descripción de la actividad alimentaria del participante 2.....	51
Tabla 8. Descripción de la actividad alimentaria del participante 3.....	52
Tabla 9. Descripción de la actividad alimentaria del participante 4.....	54
Tabla 10. Interpretación de las necesidades expuestas por cuidadores de la población con PCI.....	57
Tabla 11. Definición de los atributos del artefacto a diseñar.....	58
Tabla 12. Estructura del par de preguntas (funcional y disfuncional) del método Kano	60
Tabla 13. Matriz de evaluación de atributos del Método Kano	61
Tabla 14. Relevancia referida de cada atributo	61
Tabla 15. Definición y ponderación de requerimientos	61
Tabla 16. Características físicas del ABS	72
Tabla 17. Comprobación mecánica referente al peso de las alternativas planteadas	73

Tabla 18. Comprobación mecánica referente a la resistencia del material sobre una carga aplicada.....	75
Tabla 19. Evaluación de alternativas con base en los requerimientos planteados	81
Tabla 20. Caracterización del resorte de torsión empleado	84
Tabla 21. Registro del recorrido angular descrito por la estructura corporal estudiada	102
Tabla 22. Tiempo empleado por el artefacto propuesto y la cuchara tradicional para cumplir el ciclo de actividad alimentario	105

RESUMEN

TITULO: ARTEFACTO PARA EL FAVORECIMIENTO DE LA ACTIVIDAD ALIMENTARIA EN LA POBLACIÓN INFANTIL CON ESPASTICIDAD MANUAL ORIGINADA POR LA PARÁLISIS CEREBRAL*

AUTOR: OSCAR MAURICIO RUEDA GONZÁLEZ**

PALABRAS CLAVES: DISCAPACIDAD, PARTICIPACIÓN, ALIMENTACIÓN, REHABILITACIÓN FUNCIONAL, MIEMBROS SUPERIORES, DEDOS EN GARRA, INCLUSIÓN.

DESCRIPCIÓN:

El presente estudio busca, mediante el desarrollo de un artefacto, mejorar la actividad de la alimentación de la población infantil con espasticidad causada por la parálisis cerebral infantil (PCI), así como las funciones musculo esqueléticas relacionadas con el movimiento de la mano, que se ven afectadas por el patrón espástico de dedos en garra, con el fin de reducir las deficiencias derivadas de la espasticidad en esta estructura corporal y las limitaciones del entorno tangible afines al desarrollo de esta actividad que, de manera conjunta establecen la situación de discapacidad.

Para lograr este objetivo, inicialmente se revisaron las técnicas utilizadas para el tratamiento de la espasticidad y se articuló una de ellas al uso del artefacto; seguidamente, se estudió y analizó la actividad alimentaria de esta población, lo cual permitió establecer los atributos y parámetros del artefacto propuesto. Finalmente, tras construir físicamente la solución propuesta, se evaluó su pertinencia para conseguir el objetivo trazado, mediante la medición en la variación del recorrido angular de los dedos de la mano tras dar cumplimiento a la actividad alimentaria asistida por el artefacto diseñado y el performance presentado por éste durante su uso. Cabe aclarar que, la anterior evaluación fue realizada durante el cumplimiento de la actividad de la alimentación de cuatro niños afectados por la espasticidad en sus extremidades superiores a causa de la parálisis cerebral, y aunque sus resultados no son producto de un estudio con una muestra representativa de la población, constituyen una aproximación al desarrollo de productos que mejoren la inclusión de esta población en la actividad cotidiana de la alimentación.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: Francisco Espinel Correal, Magíster en Diseño Industrial.

ABSTRACT

TITLE: DEVICE TO ENHANCE THE ACTIVITY OF FEEDING IN CHILDREN WITH SPASTIC HANDS CAUSED BY CEREBRAL PALSY*

AUTHOR: OSCAR MAURICIO RUEDA GONZALEZ**

KEYWORDS: DISABILITY, PARTICIPATION, FEEDING, FUNCTIONAL REHABILITATION, UPPER LIMBS, SWAN-NECK DEFORMITY, INCLUSION.

DESCRIPTION:

Through a device, the present work aims to enhance the activity of feeding in children with spasticity caused by cerebral palsy and improve the musculoskeletal functions related to hand movement which are affected by the swan-neck deformity. This approach aims to reduce both the deficiencies caused by spasticity in hands and limitations found in the environment related to feeding activity, which jointly establish a disability status.

In order to accomplish this goal, the techniques used to treat the spasticity were initially reviewed to articulate one of them to the usage device. Subsequently the activity of feeding was studied and analyzed in children with spasticity caused by cerebral palsy to establish the device's affordances and parameters. Then, the solution proposed was finally built to test it through the range of motion variation in fingers after the feeding activity assisted by the designed device and the performance presented during its use. It's important to specify that the last assessment was done during the feeding performing of four children affected by spasticity caused by cerebral palsy and, even though its results are not product of a probabilistic population, they are an approximation to the product development focused in improving the inclusion of this population in the daily activity of feeding.

* Degree work

** Faculty of mechanical physical engineering. School of Industrial Design. Director: Francisco Espinel Correal, Master of Industrial Design.

INTRODUCCIÓN

La discapacidad funcional adquirida por la Parálisis Cerebral Infantil espástica afecta de manera degenerativa las propiedades físicas de los músculos de las extremidades superiores de un niño con este trastorno; por tanto, el tratamiento físico de este desorden motor le hace frente a su cronicidad y propicia el mejoramiento de la estructura corporal afectada. Por otra parte, existen diferentes ayudas técnicas que reducen las barreras que restringen la participación de un infante con esta condición en actividades de la vida cotidiana. Sin embargo, tanto el tratamiento médico como las ayudas técnicas responden de forma parcial a la discapacidad si estos mecanismos de rehabilitación no se complementan. Por tal razón, el presente trabajo busca integrar estos mecanismos para dar una solución integral a la discapacidad de esta población en la actividad cotidiana de la alimentación. Para esto, es diseñado un artefacto que articula el carácter dinámico del tratamiento físico de la espasticidad, con las acciones habituales de la actividad alimentaria; el cual permite reducir un patrón anormal de movimiento en la mano durante el uso del mismo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La discapacidad, según la Clasificación Internacional del Funcionamiento de la discapacidad y de la salud (CIF) de la OMS, se define como: “Un término genérico que engloba deficiencias, limitaciones de actividad y restricciones para la participación”. Esta condición es prevalente en un 15% de la población mundial y paralelo al crecimiento demográfico su proporción aumenta en función del número de personas que envejecen y tienen mayor exposición a las causas de una limitación³. Por su parte, en Colombia se han hecho varios estudios para medir la prevalencia de la discapacidad desde el año 1993, siendo el censo del año 2005 y el registro para la localización y caracterización de la población con discapacidad (RLCPD) los compendios de información más actuales registrando respectivamente un 5,6% y un 2% de prevalencia⁴.

Consecuente con lo anterior, la discapacidad ha tomado gran relevancia en investigaciones orientadas a su comprensión y mecanismos de inclusión⁵, lo cual llevo a integrar el modelo médico de discapacidad, el cual concibe una limitación como un problema personal⁶, con el modelo social de discapacidad, el cual concibe una limitación como un producto del entorno. A su vez, este enfoque conjunto comprende el fin de la rehabilitación como la participación plena y/o inclusión de una persona en las esferas de la vida social⁷.

³ OMS. Resumen Informe mundial sobre la discapacidad. 2011. Recuperado el 15 de Julio de 2015, Disponible en: http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/summary_es.pdf

⁴ Agudelo, L., & Seijas, V. La discapacidad en Colombia. *Revista Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación*, 22(2), 164-179. 2012

⁵ Samaniego, P. *Aproximación a las personas con discapacidad en latinoamerica*. Madrid. 2006

⁶ Stucki, G., Cieza, A., & Melvin, J. The International Classification of Functioning, Disability and Health: a unifying model for the conceptual description of the rehabilitation strategy. *J Rehabil Med*, 39, 279-285. 2007

⁷ OMS. *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud*. 2001. Recuperado el 15 de Julio de 2015, Disponible en: <http://es.slideshare.net/MarcelaDahan/oms-clasificacion021>

En Colombia, la Ley Estatutaria 1618 de 2013 cubre las medidas del anterior modelo, y como resultado de ello, se brinda atención a población con esta condición desde diferentes profesiones de la salud para disminuir el impacto de las deficiencias que generan su estado de discapacidad; sin embargo, como se aclaró anteriormente, el proceso de rehabilitación precisa de manera conjunta con la anterior disposición, la utilización de herramientas de apoyo y dispositivos de ayuda funcional que permitan reducir las limitaciones de una actividad y las restricciones para la participación. Por tal razón, el acceso limitado a medidas que adopten este enfoque conjunto en el contexto nacional, condicionan la inclusión efectiva de una persona afectada por la discapacidad.

Por su parte, según el RLCPD, la discapacidad motriz, condición que engloba diferentes afectaciones en donde la habilidad en el control y coordinación de movimientos está comprometida, es la más frecuente en la población nacional con un registro del 32,1% del total de personas discapacitadas⁸. Dentro de esta clasificación, se incluye la espasticidad al ser un desorden motor degenerativo que, si bien tiene sus causas en el sistema nervioso central, sus consecuencias afectan el movimiento y control de diferentes estructuras corporales, en especial las extremidades, lo cual reduce la capacidad de una persona para realizar autónomamente sus actividades de la vida cotidiana⁹. Cabe aclarar que este trastorno presenta su mayor prevalencia en población con parálisis cerebral infantil (PCI), la cual, según estimaciones del DANE, afecta a más de 250.000 personas en el país. Por otra parte, la rehabilitación de este desorden motor está dada según su fase evolutiva y la patología causal de esta condición; sin embargo, la fisioterapia, ortopedia, medicación y cirugía son los patrones de tratamiento más

⁸ DANE. Registro para la Localización y Caracterización de las Personas con Discapacidad. 2012. Recuperado

⁹ Vivancos-Matellano, F., & et al. Guía del tratamiento integral de la espasticidad. *Neurol*, 45(6), 365-375. 2007

comunes, los cuales están orientados a adquirir o mejorar la función pérdida o limitada¹⁰.

Ahora bien, existen diversas guías para el tratamiento de la espasticidad en población con PCI, las cuales aconsejan promover en estas personas la realización de actividades cotidianas de manera autónoma para estimular movimientos que promuevan la corrección de los patrones anormales de movimiento generados por esta condición y evitar su cronicidad¹¹. Lo anterior señala un enfoque de rehabilitación más inclusivo al promover la participación autónoma en una actividad de la vida cotidiana y favorecer la mejora funcional tras la realización de determinados movimientos; sin embargo, elementos del entorno que asisten la realización de actividades cotidianas como la alimentación en población con espasticidad, no son consecuentes con la mejora funcional que podría tener una persona con este desorden motor al estimular movimientos que propicien la corrección de patrones espásticos en la mano y sus dedos, durante la actividad de la alimentación.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Ante la necesidad de generar productos y tecnologías para uso personal en la vida diaria que, además de mejorar el cumplimiento de una actividad de la vida cotidiana tal como la alimentación, de una persona afectada por la discapacidad motriz de la extremidad superior causada por la espasticidad; propicie la recuperación de las funciones musculo esqueléticas relacionadas con el

¹⁰ Bolaños, J., & et al. Recomendaciones de Manejo Integral de la Espasticidad. *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación*, 106-144. 2011

¹¹ CBM. Ayudando a niños y niñas con Parálisis Cerebral. 2012. Recuperado el 10 de Septiembre de 2015, Disponible en: http://www.cbm.org/article/downloads/54741/2._CP_Manual_SPANISH_CBM_Help_Chn_CP__May_2014_.pdf

movimiento de la mano, el desarrollo del presente artefacto constituye un mecanismo¹² de rehabilitación más inclusivo para infantes con parálisis cerebral espástica al propiciar la reducción de los patrones espásticos presentes en sus miembros superiores y las barreras incapacitantes asociadas a la actividad alimenticia de esta población. A su vez, cabe citar que la conducta de un menor, además de determinarse por factores genéticos, es modelada por su entorno y las experiencias que se circunscriben en este. Estas últimas, al presentarse de manera adversa, no solo se configuran en barreras incapacitantes, sino que crean una serie de alteraciones psicológicas tales como desconfianza, frustración y falta de motivación; las cuales crean una actitud de alta dependencia en el cumplimiento de sus actividades cotidianas¹³. Por tal razón, la supresión de una barrera incapacitante mediante el artefacto a diseñar, no solo facilita, en el caso particular, el desarrollo de la actividad alimentaria, sino que afianza las capacidades del menor y propende su autonomía, lo cual lleva al mejoramiento de su calidad de vida.

1.2 PREGUNTA DE DISEÑO

¿De qué manera un artefacto para la alimentación de un infante con parálisis cerebral espástica puede colaborar en la reducción del patrón anormal de movimiento de dedos en garra, medido en el recorrido angular efectuado por los dedos de la mano?

¹² Según la RAE puede entenderse como “proceso”, definición que para el presente estudio se toma para referirse a un proceso cuya estructura tiene como fin la rehabilitación.

¹³ Ruiz, A., & Arteaga, R. PARÁLISIS CEREBRAL Y DISCAPACIDAD. En FEAPS, *Síndromes y apoyos. Panorámica desde la ciencia y desde las asociaciones* (págs. 363-394). 2006. Disponible en: http://www.feaps.org/biblioteca/sindromes_y_apoyos/capitulo14.pdf

1.3 OBJETIVOS

a. Objetivo General

Diseñar un artefacto para la asistencia alimentaria dirigido a la población infantil con discapacidad funcional de la mano adquirida por parálisis cerebral espástica, que permita reducir el patrón anormal de movimiento de dedos en garra mediante la variación de su recorrido angular.

b. Objetivos específicos

1. Identificar los mecanismos de rehabilitación funcional que mitigan la espasticidad de la mano, así como su pertinencia relacionada con el grado de afectación de la persona con PCI espástica.
2. Determinar los esquemas de interacción presentes entre el niño, cuidador y los objetos asociados al consumo de alimentos de la población con PCI espástica.
3. Formular los atributos del dispositivo que permitirá la rehabilitación funcional y la participación en la actividad cotidiana de la alimentación de población con PCI espástica.
4. Verificar y validar la conveniencia del artefacto propuesto para, reducir el patrón espástico de dedos en garra al concluir un ciclo de operaciones correspondientes a la alimentación de la población con PCI espástica, y asistir favorablemente esta actividad de la vida cotidiana.

1.4 MARCO TEÓRICO

a. Incidencia de la discapacidad en la calidad de vida de las personas

La discapacidad es una condición que, según la *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y la Salud* (CIF), engloba deficiencias,

limitaciones de actividad y restricciones para la participación de una persona. A su vez, y en un sentido más específico, esta clasificación define: una deficiencia como un problema en las funciones o estructuras corporales, tales como una desviación significativa o una pérdida; una limitación como una dificultad que un individuo puede tener en el desempeño/realización de actividades y una restricción para la participación, como un problema que un individuo puede experimentar al involucrarse en situaciones vitales debido a factores ambientales o personales¹⁴. De esta manera, una deficiencia en una función corporal incapacita a una persona para el desarrollo de las actividades que demanden el uso de la estructura corporal integrada a tal función, lo cual propicia una condición de discapacidad. Por otra parte, esta última puede empeorar si los diferentes factores del entorno se configuran como barreras o restricciones que impiden la realización dichas actividades.

Así mismo, hay diferentes tareas que son comunes en los seres humanos y que son esenciales para suplir las necesidades básicas de supervivencia y tener una vida independiente¹⁵. Estas tareas son señaladas como “Actividades de la Vida Cotidiana” y corresponden, según la *CIF*, al aprendizaje y utilización del conocimiento, tareas y demandas generales, la comunicación, la movilidad, el autocuidado, la vida doméstica, las interacciones y relaciones interpersonales, educación y empleo, así como la vida comunitaria social y cívica. De este modo, al haber una deficiencia funcional o una restricción que limite la realización de una Actividad de la Vida Cotidiana, la discapacidad derivada de esta situación disminuye la autonomía de tal individuo, lo que consecuentemente reduce su calidad de vida.

¹⁴ OMS. 2001. Op. Cit.

¹⁵ Romero, D., & Moruno, P. *Actividades de la vida diaria*. Barcelona, España: Elsevier España. 2006

b. Discapacidad generada de las alteraciones motoras de la espasticidad

La espasticidad es un desorden motor causado por un aumento del tono muscular dependiente de la velocidad, asociado a un reflejo miotático exagerado*, que a su vez, es producido por la destrucción de las áreas premotoras o las vías yuxtapiramidales de la formación reticular bulbar medial del sistema nervioso central, las cuales están encargadas de activar el área reticular inhibitoria del tono.

Consecuente con lo anterior, se produce una alteración de la elasticidad, plasticidad y viscosidad de los tejidos blandos (ligamentos, tendones y músculos del sistema musculo esquelético), lo cual constituye a la espasticidad como una afectación, tanto en infantes -debido a la parálisis cerebral infantil- como en adultos –como consecuencia de un daño cerebro cerebrovascular adquirido, Ictus y lesiones medulares-, que reduce la capacidad motriz de una persona y propicia la adopción gradual de posturas anormales en esta. Por otra parte, cabe destacar que, aunque la presencia de posturas anormales causadas por la espasticidad depende en gran medida a la patología asociada al desorden motor, los patrones anormales más comunes se encuentran asociados a las extremidades superiores e inferiores. En consecuencia, las personas con este desorden motor adquieren la condición de discapacidad al verse impedidas para realizar actividades de la vida cotidiana que demanden el uso de sus extremidades.

La espasticidad en población con parálisis cerebral infantil (PCI)

La PCI se define como un trastorno que afecta principalmente los movimientos y la postura de un niño, lo que dificulta la realización de actividades que permiten su normal desarrollo. Asimismo, esta patología es comúnmente acompañada por afectaciones en las habilidades sensoriales, cognitivas, comunicativas, perceptivas y conductivas de un infante. Con relación a las causas de la PCI, ésta se presenta debido a una lesión o defecto no progresivo padecido en el cerebro durante el

* El reflejo miotático exagerado es un mecanismo de regulación de todo acto motriz en el cuerpo humano, el cual permite la relajación y contracción de los músculos agonistas y antagonistas respectivamente, para producir un movimiento determinado en una estructura corporal

desarrollo del mismo; por lo tanto, puede presentarse durante la gestación, en el momento del parto o durante los 3 o 4 primeros años de vida de un infante.

Existen varios tipos de PCI así como formas de clasificarla; sin embargo, según las características de los movimientos, se pueden encontrar en tres formas: Parálisis Cerebral Espástica, en donde los músculos tensos y rígidos dificultan la realización de movimientos. Parálisis Cerebral Atetósica o Discinética, en la cual los músculos pasan de un estado tenso a uno flácido súbitamente; y la Parálisis Cerebral Atáxica, en donde los músculos de las extremidades están propensos a presentar temblores dificultando las actividades de precisión. Estas formas se presentan con frecuencia de manera conjunta, sin embargo, la Parálisis Cerebral Espástica es la más común debido a que la prevalencia de la espasticidad en los casos con PCI es de un 70-80% (ICBF, 2010).

Evolución de la espasticidad

A diferencia de la población adulta, cuando la espasticidad se presenta en población con PCI esta es de carácter crónico, es decir, es un trastorno dinámico con tendencia degenerativa al alterar las propiedades de viscosidad, elasticidad y plasticidad de los músculos de las estructuras corporales comprometidas por este desorden motor. De esta manera, este desorden motor instaura inicialmente una fibrosis muscular en una estructura corporal, la cual propicia la aparición de retracciones y contracturas musculares, lo que consecuentemente lleva a la estructura en cuestión a un estado de deformidad osteoarticular¹⁶. Por tal razón es de gran importancia, no solo tomar medidas para evitar la cronicidad de la espasticidad, sino permitir que estas sean acordes con la evolución de este desorden motor¹⁷.

¹⁶ De souza, L., Hewer, R., & Miller, S. Assessment of recovery of arm control in hemiplegic stroke patients. 1. Arm function tests. *International rehabilitation medicine*, 2(1), 3-9. 1980

¹⁷ Johnson, D., Damiano, D., & Abel, M. The evolution of gait in childhood and adolescent cerebral palsy. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 17(3), 392-6. 1997

Aunque hay muchos factores que intervienen en la aparición y el desarrollo de la espasticidad, la evolución de esta se puede comprender en cuatro etapas¹⁸:

Tabla 1. Fases evolutivas de la espasticidad

Fase	Afectación	Características
Espasticidad	Menor	Aumento involuntario de la tensión en el músculo, principalmente agonista, debido al aumento desmedido en el reflejo de estiramiento en el mismo.
Actitud viciosa		Presencia de desequilibrio muscular, principalmente entre músculos agonistas y antagonistas, propiciado por la injerencia de la espasticidad solo en determinados grupos musculares de una estructura corporal, lo cual lleva a que músculos no afectados inicialmente por este desorden motor resulten perjudicados por la inactividad o deterioro del otro.
Retracción muscular	Mayor	Crecimiento desigual entre los músculos agonistas y antagonistas, debido a la actitud viciosa presentada en un grupo muscular, lo que lleva al músculo a crear una resistencia al movimiento aun cuando este no está contraído.
Deformidad osteoarticular		Alteración en las presiones y los estímulos de tracción del cartílago de crecimiento, lo que propicia la aparición de deformidades osteoarticulares y por ende la posibilidad de fracturar el hueso de la estructura corporal comprometida por este desorden motor tras realizar un tratamiento fisioterapéutico.

c. Patrones espásticos de la mano

La mano y su funcionalidad

La mano es un segmento corporal de la extremidad superior que, gracias a sus características anatómicas y a la presencia de abundante tejido nervioso, ha permitido al hombre el desarrollo de grandes habilidades para manipular su entorno y sobrellevar a las inconsistencias del mismo. Para ello, la mano cuenta con un complejo de 20 articulaciones que acoplan cerca de 27 huesos, seccionados en: huesos del carpo, huesos del metacarpo y falanges distales, mediales y proximales; con más de 30 músculos, intrínsecos o extrínsecos,

¹⁸ Vivancos-Matellano, & et al. Op. Cit.

encargados de ejecutar la flexión, extensión, abducción y aducción de los tejidos óseos de esta estructura corporal.

Ahora bien, el uso de la mano responde mayormente a las habilidades motoras finas, las cuales son un conjunto de acciones coordinadas que permiten el control de diferentes elementos utilizados para desarrollar actividades de precisión. El conjunto de estas acciones posibilita la recolección y manipulación de objetos, así como su liberación tras ser sostenidos. Para ello, la mano adopta arcos longitudinales y/o transversales, que permiten disponerla para ejecutar una presa. Esta última, en términos de precisión, puede ser palmar, si el objeto entra en contacto con los dedos y la palma de la mano; o digital, en donde se presenta la oposición del pulgar, si solo los dedos manipulan el objeto¹⁹.

Figura 1. De izquierda a derecha, presa palmar y presa digital



Fuente: Movimiento rítmico. Disponible en: www.movimientoritmico.blogspot.com

La espasticidad en la mano

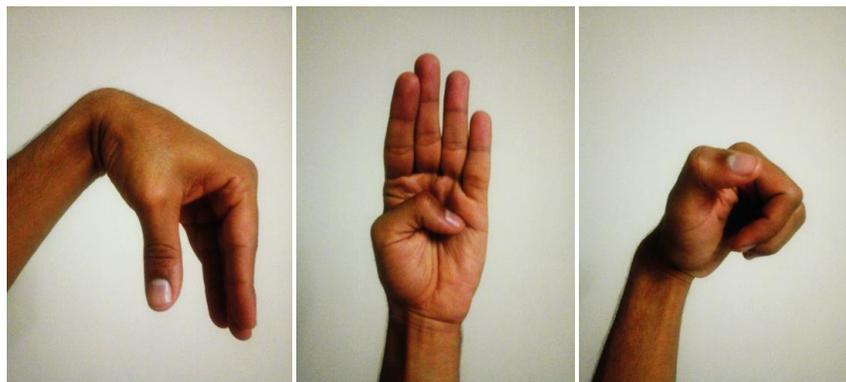
Al ser afectada por la espasticidad, la mano presenta alteraciones en los tejidos blandos asociados al metacarpo, así como en las falanges proximales y distales de esta estructura corporal. Consecuentemente, los patrones espásticos más

¹⁹ Arias, L. A. Biomecánica y patrones funcionales de la mano. *Morfología*, 41(1), 14-24. 2012

comunes de la mano son el *flexo de muñeca*, *dedos en garra* y *pulgar incluido en palma*²⁰.

Ahora bien, en cuanto al *flexo de muñeca*, este patrón refiere la flexión excesiva de la misma, impidiendo los movimientos de extensión, desviación radial y cubital (abducción y aducción) y flexión natural de la muñeca. Por su parte, el patrón espástico de *dedos en garra* hace referencia a la flexión de las falanges de la mano, lo cual imposibilita su extensión y normal flexión. Por último, el *pulgar incluido en palma* indica la flexión excesiva del primer dedo hacia la palma de la mano, lo que dificulta su extensión, aducción, abducción y flexión natural.

Figura 2. Patrones espásticos más comunes en la mano. De izquierda a derecha flexo de muñeca, pulgar incluido en palma y dedos en garra.



La incapacidad para realizar estos movimientos dificulta la realización de actividades que requieran la ejecución de una presa, especialmente aquellas que demanden la oposición del pulgar, tales como la higiene personal, vestimenta, comunicación escrita y la alimentación.

²⁰ Bolaños, & et al. Op. Cit.

d. Valoración y tratamiento de la espasticidad

La valoración y tratamiento de la espasticidad es un proceso multidimensional e interdisciplinar en el cual actúan de forma coordinada, unidades especializadas en tratamiento médico, la familia de quien recibe la rehabilitación y otros actores del entorno que propician la reducción de barreras incapacitantes.

La valoración de este desorden motor es llevada a cabo con el objetivo de evaluar y determinar el grado o fase de afectación de una estructura corporal y por ende las limitaciones y restricciones a la actividad derivadas por la espasticidad, para encontrar un mecanismo de rehabilitación consecuente con la capacidad funcional de la persona y las dinámicas propias del entorno en el cual esta se encuentra.

Tal valoración es comprendida por una anamnesis^{**} y un examen físico. En la primera se identifican las dificultades, necesidades y expectativas tanto de una persona afectada por este trastorno como de quien cuida o acompaña a esta en sus actividades cotidianas. En esta instancia aspectos tales como la independencia para realizar actividades de la vida cotidiana, el uso de auxiliares para el cumplimiento de las mismas, la fase del desorden motor, la presencia o ausencia del dolor, las comorbilidades y particularidades cognitivas y sensoriales que agravan el trastorno, son evaluados para orientar de manera eficaz un posterior tratamiento de rehabilitación²¹.

Por su parte, el examen físico puede comprender una serie de escalas directas e indirectas para medir el tono muscular y otras variables asociadas a la espasticidad. Dentro de estos mecanismos de evaluación se encuentran la escala de fuerza muscular modificada, la cual mide la presencia de contracción muscular

^{**} Conjunto de datos que se recogen en la historia médica de un paciente, mediante una entrevista clínica, con el objetivo de establecer un diagnóstico y un tratamiento certero.

²¹ Bolaños, & et al. Op. Cit.

en una estructura corporal²²; la evaluación de espasmos, la cual mide el número de espasmos manifestados durante la realización de un movimiento en una unidad de tiempo²³ y el índice de barthel, el cual determina el grado de discapacidad de una persona a partir de su capacidad para la realización de 10 actividades de la vida cotidiana²⁴. No obstante, la Escala de Ashworth modificada y la Escala de tardieu, son las escalas directas más utilizadas para establecer el grado de espasticidad en una persona.

La Escala de Ashworth modificada es una técnica que permite medir la resistencia generada por la espasticidad ante un movimiento pasivo de forma cualitativa en una escala que va de 0 a 4, en donde cero señala la ausencia del aumento del tono muscular y cuatro indica rigidez en la estructura corporal afectada. Aunque esta medida es subjetiva, es la más citada y utilizada en el tratamiento de este desorden motor debido a la fiabilidad presentada²⁵. Por su parte, la escala de Tardieu permite medir la espasticidad mediante la calidad y el ángulo de reacción muscular durante la realización de un mismo movimiento en dos periodos de tiempo, uno lento y otro rápido. De lo anterior cabe señalar que, a mayor amplitud entre los ángulos registrados en el par de movimientos efectuados, se constituye un mayor componente dinámico en la estructura muscular estudiada. A su vez, esta medición, la cual es muy utilizada para medir la variabilidad de la espasticidad tras una terapia de corta duración, es realizada mediante un goniómetro y una escala cualitativa de respuesta muscular expresada en relación con los arcos de movimientos recorridos por la estructura corporal estudiada²⁶.

²² Calderón, R., & Calderón, R. Tratamiento de la espasticidad en parálisis cerebral con toxina botulínica. *Neurol*, 34(1), 52-9. 2002

²³ Ibid.

²⁴ Mahoney, F., & Barthel, D. Functional evaluation: the Barthel Index. *Maryland State medical journal*, 14, 61-5. 1965

²⁵ Pascual-Pascual, S., Herrera-Galante, & al, e. Guía terapéutica de la espasticidad infantil. *Neurol*, 44(5), 303-9. 2007

²⁶ Jacobs, J. Management options for the child with spastic cerebral palsy. *Orthopaedic Nursing*, 20(3), 53-9. 2001

Ahora bien, el tratamiento físico de la espasticidad, al igual que su valoración, es un proceso multidimensional en el cual actúan diferentes actores que buscan mejorar la funcionalidad y la prevención de complicaciones musculoesqueléticas de una persona que presente este desorden motor. Este tratamiento, además de propiciar la adquisición o mejora de una función perdida o limitada, debe respetar los hitos madurativos de la estructura corporal afectada, sobre todo en población con PCI, en donde la rehabilitación debe ser dinámica y consecuente no solo con el crecimiento del infante sino con los cambios positivos presentados éste²⁷.

Con base en lo anterior, el tratamiento de la espasticidad comprende diferentes mecanismos de rehabilitación física tales como la fisioterapia, ortesis, medicación, cirugía ortopédica, ósea o del sistema nervioso; los cuales pueden aplicarse de manera conjunta con el objetivo de hacerle frente a este desorden motor y evitar su evolución degenerativa²⁸. Dentro de estos mecanismos, técnicas utilizadas por la fisioterapia y la terapia ocupacional, son consideradas como las acciones más dinámicas para propiciar, además de la mejora de una deficiencia funcional, la participación en las actividades de la vida cotidiana de una persona con espasticidad.

Estas técnicas están orientadas, en primera instancia, a facilitar el movimiento mediante la relajación o estimulación de los tejidos blandos afectados por la espasticidad previo a un ejercicio dinámico. Algunas de ellas se reseñan brevemente a continuación:

Crioterapia: Reduce el tono muscular por medio de estimulación térmica al disminuir la actividad de los husos neuromusculares. La aplicación de esta técnica puede ser local o generalizada mediante irradiación o contacto, mediante bolsas térmicas o la inmersión del cuerpo en una bañera respectivamente.

²⁷ Vivancos-Matellano, & et al. Op. Cit.

²⁸ Telability. Tratamientos de la espasticidad. 2003. Recuperado el 10 de Octubre de 2015, Disponible en: <http://www.telability.org/handouts/TelAbilityHandoutTreatmentsforSpasticitySP.pdf>

Vibración: Tradicionalmente se aplica sobre los husos neuromusculares del musculo antagonista al espástico, para hacer que este se contraiga al inhibir la resistencia opuesta por este e incentivar la movilidad del musculo extrínseco afectado.

Facilitación táctil: Al igual que la vibración, el cepillado y estimulación por medio de texturas, esta técnica estimula los husos musculares de la musculatura antagonista a la espástica para facilitar la contracción de esta última e iniciar del movimiento articular.

Masajes: Aplicados en las zonas que son focos de la espasticidad, los masajes permiten la disminución del tono muscular tras estimular las estructuras nerviosas encargadas de activar el movimiento de por medio de los mecanorreceptores cutáneos.

Electro estimulación: Existen varias practicas contempladas en esta técnica que permiten tratar la espasticidad, algunas de ellas estimulan el musculo espástico (agonista) empleando contracciones tetánicas para fatigarlo, mientras que otras procuran estimular los músculos antagonistas a los espásticos para que, por medio de inervación recíproca, la contracción del musculo estimulado genere la relajación del espástico.

Por otra parte, se encuentran una serie de técnicas, las cuales, tras realizar una estimulación externa que facilite el movimiento, son aplicadas para mejorar las propiedades de los tejidos afectados por la espasticidad. Algunas de estas acciones se reseñan brevemente a continuación.

Tratamiento postural: Impide la adopción de posturas inadecuadas de tal forma que se aproveche de la mejor manera la capacidad funcional de la persona con el fin de prevenir deformidades articulares derivadas de la espasticidad.

Movilizaciones articulares: Propician el recorrido articular de una estructura corporal comprometida por la espasticidad, sin embargo, la realización incorrecta de la movilización articular puede propiciar la aparición de tejido óseo en zonas blandas circundantes a la articulación.

Estiramientos de la musculatura espástica: Mantienen las propiedades de los tejidos blandos afectados por la espasticidad a partir del estiramiento y estimulación de estos para que la resistencia al movimiento causada por este desorden motor ceda.

Sostén o contracciones isométricas: Estimulan y fortalecen los músculos agonistas o antagonistas tras generar tensión en los mismos en una posición estática. Esta técnica suele realizarse después de una movilización articular para favorecer el aumento secuencial de la amplitud del rango articular.

Biorregulación: Permite a personas con espasticidad diferenciar entre una contracción voluntaria o espástica cuando estas no tienen noción de ello debido a la evolución del desorden motor y las capacidades sensoriales de quien es afectado por el mismo.

e. Escalas para la valoración personal de un proceso de rehabilitación

Existen diferentes escalas, tales como los *Short Forms*²⁹, las cuales son aplicables para evaluar la satisfacción de una persona tras recibir un tratamiento que busque mejorar su calidad de vida. Sin embargo, aunque los *Short Forms* son las escalas más utilizadas para medir el estado de bienestar y la variación percibida del mismo, solo son aplicables en población mayor de 14 años³⁰.

²⁹ Cuestionarios de la Organización Mundial de la Salud orientados a evaluar el estado de salud percibido por una persona

³⁰ Keller, S., Ware, J., & Kosinski, M. A 12-Ítem Short Form Health Survey. Construction of scales and preliminary tests of reliability and Validity. *Medical Care Journal*, 34, 220-233. 1996

Por su parte, la *graduación subjetiva de la mejoría global*, la cual refiere gran similitud con la escala de visualización análoga EVA, mide el cambio percibido por una persona, tras un proceso de rehabilitación, en una escala ordinal que varía de -2 a 4, donde 0 indica ausencia de cambio³¹. Aunque esta técnica es de naturaleza cualitativa, se presenta más pertinente para la valoración personal de un mecanismo de rehabilitación orientado a población con parálisis cerebral infantil espástica debido a la facilidad con la cual un niño con esta patología puede manifestar un cambio en su estado físico tras recibir un tratamiento.

f. La accesibilidad y el diseño para la participación

Una vez comprendida la participación como el objetivo de la rehabilitación, y el acceso a ésta como mecanismo de inclusión mediante la reducción de barreras incapacitantes que permiten la interacción de una persona con su entorno independientemente de sus capacidades; la accesibilidad se constituye como un principio fundamental en la creación e intervención de objetos y espacios que permitan la participación de un individuo en las actividades de su vida cotidiana.

La accesibilidad es un principio que permite la interacción de una persona con un sistema independientemente de sus capacidades motoras, cognitivas o sensoriales³². A su vez, este principio presenta cuatro lineamientos que señalan las características de un sistema accesible:

Perceptibilidad: Esta característica es conseguida cuando una población consigue percibir los atributos de un diseño independientemente de sus capacidades sensoriales. Para ello el reforzamiento del uso e interacción de un objeto o sistema puede estar apoyado por métodos de codificación redundantes que tornen más eficiente el proceso cognitivo de atención-percepción.

³¹ Vivancos-Matellano, & et al. Op. Cit.

³² Holden, K., & Lidwell, W. *Principios universales del diseño*. BLUME. 2011

Operatividad: Esta característica es conseguida cuando un amplio rango de personas puede operar un diseño independientemente de sus capacidades físicas. Para ello, es importante, minimizar los niveles de esfuerzo y precisión requerida para operar o interactuar con un objeto o entorno.

Sencillez: Esta característica es lograda cuando una persona puede entender, usar e interactuar con un sistema independientemente de su experiencia, educación o nivel de concentración. Para ello es importante presentar los atributos del objeto o sistema de interacción de forma clara, relevante y consistente para hacer más eficiente el proceso cognitivo de percepción-interpretación.

Indulgencia: Esta característica es lograda al minimizar la presencia de errores y las consecuencias de los mismos tras interactuar con un diseño. Para ello puede ser relevante la inserción de operaciones reversibles y limitar el uso para que este sea realizado de una forma específica.

1.5 ANÁLISIS DE SOLUCIONES EXISTENTES

Cuando la rehabilitación de una persona con espasticidad es acompañada por la fisioterapia y/o la terapia ocupacional, el tratamiento se encuentra apoyado por ayudas técnicas que buscan el mejoramiento funcional de la estructura corporal afectada. Por otra parte, se encuentran diferentes elementos que permiten mejorar la alimentación de una persona con espasticidad u otro desorden motor presente en la mano, al poder ser manipulados con mayor facilidad si se compara con los cubiertos tradicionales. De esta manera, al permitir la participación y autonomía en una actividad de la vida cotidiana, dichos elementos se convierten en un mecanismo de rehabilitación.

Con base en lo anterior, se realizó una clasificación de los diferentes mecanismos de rehabilitación dispuestos en la siguiente forma:

- Soluciones orientadas a permitir la actividad alimentaria.
- Soluciones orientadas a la rehabilitación funcional dinámica.
- Soluciones orientadas a la rehabilitación funcional estática.

A su vez, para cada elemento asistencial se realizó una descripción general, así como un análisis de sus ventajas y desventajas, como se evidencia en las siguientes tablas.

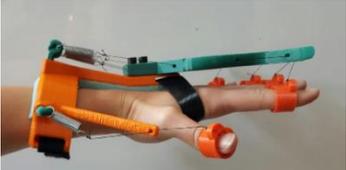
Tabla 2. Soluciones orientadas a permitir la actividad alimentaria

<i>Participación</i>			
Ítem	Características	Ventajas	Desventajas
<p>Figura 3. Cuchara flexible con soporte UPAL020026</p> 	<p>Cubierto flexible de goma de aproximadamente 20 gramos que permite facilitar la alimentación de personas con párkinson, espasticidad y debilidad muscular. Por otra parte, posee un soporte para personas que no pueden cerrar la mano. Precio: \$ 96.600 COP Tomado de: http://www.abueloactual.com/tienda/Catalog/show/cuchara-flexible-con-soporte-19372</p>	<p>La presión del mango es realizada con todos los dedos de la mano, lo cual facilita el control del cubierto al haber ausencia de motricidad fina. Su elemento de dosificación posee una curvatura que permite llevar el cubierto a la boca sin necesidad de realizar un movimiento de abducción en la muñeca. Su material facilita el agarre de la mano. Posee un soporte que evita que el cubierto se deslice una vez agarrado.</p>	<p>El tamaño del dosificador es pequeño si se tiene en cuenta la probabilidad de que el alimento caiga al no haber suficiente control de la motricidad fina en la mano. Se hace necesaria la asistencia de otra persona para graduar y ajustar el soporte, si quien utiliza el cubierto no posee la suficiente motricidad para hacerlo.</p>
<p>Figura 4. Flexible Paediatric Cutlery</p> 	<p>Utensilio para facilitar la alimentación de personas con dificultades en el agarre, el cual se envuelve alrededor de la mano o la muñeca. Su peso es de 50 gramos y consta de una pala cóncava, así como un mango flexible de espuma de 19 mm de diámetro y 250 mm de largo. Precio: \$ 54.400 COP Tomado de: http://www.welcomemobility.co.uk/Products/Flexible-Paediatric-Cutlery_HC_091000694_P.aspx</p>	<p>Evita que el cubierto se deslice al mantenerlo estático en relación a la mano. Su mango flexible permite ajustarse a las dimensiones de un gran rango de personas. Su mango en espuma permite un fácil ajuste.</p>	<p>En caso de ensuciarse con alimentos líquidos debe lavarse con agua tibia para que la espuma quede totalmente limpia. La pala está dispuesta de tal forma que es necesario un movimiento de abducción para facilitar el ingreso de alimentos a la boca.</p>
	<p>Cubierto que facilita a personas con</p>	<p>Posee un orificio que permite conservar el</p>	<p>Su proceso de fabricación hace que el</p>

Participación

Ítem	Características	Ventajas	Desventajas
<p>Figura 5. S'up Spoon</p> 	<p>desordenes motores en las manos la dosificación de alimentos. Este elemento es realizado en plástico termoestable y su peso es de 25 gramos. Consta de un orificio en el cual los alimentos permanecen durante su transporte desde el plato hasta la boca.</p> <p>Precio: \$71.400 COP</p> <p>Tomado de: http://www.sup-products.com/product/sup-spoon-black/</p>	<p>alimento en el fondo del mismo para que esta no caiga al momento de su transporte desde el plato a la boca cuando no se tiene suficiente control de la motricidad fina.</p> <p>Su diseño es simple y constituido por una sola pieza lo cual facilita su disposición final.</p> <p>Su mango permite mayor agarre que el presentado por un cubierto tradicional.</p>	<p>valor de adquisición del cubierto sea muy alto.</p>
<p>Figura 6. Nelson Eater/Feeding Device</p> 	<p>Unidad que permite la alimentación independiente de personas con problemas de coordinación motora en sus extremidades superiores. Está compuesto por un brazo que lleva una cuchara desde la posición del plato hasta la boca en un plano frontal y una base que al rotar permite realizar la misma acción desde un plano superior.</p> <p>Tomado de: http://www.medifab.com.au/products/arm-supports-feeding/nelson-eaterfeeding-device</p>	<p>Facilita el transporte de alimentos desde el plato a la boca si la persona no posee una buena coordinación motora.</p> <p>El plato y el cubierto son desmontables para facilitar su limpieza.</p> <p>La forma y tamaño del mango facilita su agarre.</p>	<p>Requiere de un ajuste especial a la mesa para que la fuerza empleada por quien lo utiliza no produzca volcamiento del mismo.</p> <p>Sus elementos formales no son coherentes.</p> <p>Si hay demasiado recorrido del brazo de la unidad en el plano frontal el alimento transportado en la cuchara puede caer.</p>

Tabla 3. Soluciones orientadas a permitir la rehabilitación funcional de la mano de manera dinámica

<i>Rehabilitación funcional dinámica</i>			
Ítem	Características	Ventajas	Desventajas
<p>Figura 7. Prosthetic hands developed by Lehigh University students</p> 	<p>Dispositivo realizado en impresión 3D que permite la reducción de los patrones espásticos de: dedos en garra y pulgar incluido en palma, tras estimular el estiramiento en los grupos musculares asociados a dichos patrones.</p> <p>Tomado de: http://3dprint.com/85807/aquahand-stroke-victims/</p>	<p>Su nivel de fuerza puede calibrarse según la resistencia opuesta por la espasticidad presente en los dedos.</p> <p>Permite la interacción de la mano con otros objetos.</p> <p>Posee una membrana que amortigua la fuerza ejercida por los dedos sobre la muñeca</p> <p>Su diseño es de libre fabricación.</p>	<p>Sus resortes pueden sufrir daño al estar demasiado expuestos.</p> <p>Sus elementos carecen de coherencia formal.</p> <p>La cuerda que une a los resortes con la goma donde se disponen los dedos, es ajustada mediante un nudo que puede zafarse fácilmente.</p>
<p>Figura 8. Hand fitness trainer</p> 	<p>Dispositivo que permite fortalecer los músculos extensores de la mano tras vencer una resistencia opuesta de forma repetitiva. Esto es posible mediante bandas de látex las cuales se pueden calibrar en tres distintas posiciones en función del de la resistencia que se desee vencer y la capacidad funcional de quien lo utiliza. Su peso es de 140 gramos.</p> <p>Precio: \$ 93.000</p> <p>Tomado:</p> <p>http://www.hammacher.com/Product/Default.aspx?sku=87186&refsku=76527</p>	<p>Su nivel de fuerza puede calibrarse según la resistencia opuesta por la espasticidad presente en los dedos.</p> <p>Su diseño es simple y compacto.</p> <p>Puede utilizarse con cualquiera de las dos manos.</p> <p>Sus bandas en látex permiten ajustarse a la dimensión de los dedos de la persona que use el dispositivo.</p>	<p>Su disposición en la palma de la mano impide la prensión de objetos.</p>

Rehabilitación funcional dinámica

Ítem	Características	Ventajas	Desventajas
<p>Figura 9. Saeboglove</p> 	<p>Guante en lycra sujetado a una pequeña férula de muñeca por una serie de sensores, que ayuda a personas con enfermedades neurológicas u ortopédicas a mejorar la funcionalidad en sus manos mediante una terapia rápida que consiste en vencer la tensión ejercida por el guante mediante movimientos repetitivos de flexión en los dedos y el pulgar para propiciar una mejor función de agarre. Tomado de: http://www.saebo.com/saeboglove/</p>	<p>Su nivel de fuerza puede calibrarse según la resistencia opuesta por la espasticidad presente en los dedos. Permite mantener la muñeca en su posición natural mientras es realizada la apertura de la mano. El incluir todo el dedo dentro del guante permite mayor control del dispositivo sobre el mismo al realizar un movimiento.</p>	<p>Solo puede utilizarse en una sola mano. Puede producir sudoración en los dedos tras un periodo de actividad largo.</p>
<p>Figura 10. Gloreha Glove</p> 	<p>Guante robótico que permite a personas con algún tipo de lesión neurológica ejercitar las articulaciones metacarpo falángicas mediante movilización pasiva de los de dedos de la mano. Este dispositivo está provisto de un software en el cual la persona puede ver en una pantalla de visualización de datos el movimiento pasivo realizado para obtener una mejor retroalimentación del ejercicio, sobre todo en personas con déficit cognitivo. Tomado de: http://www.gloreha.com/index.php/en/home-eng/23-notizie-en/54-gloreha-lite-a-solution-for-patients-at-home</p>	<p>Su mecanismo de movilización pasiva facilita a personas con altas dificultades para flexionar o extender los dedos la práctica masiva de estos movimientos. Permite un proceso de rehabilitación más amplio al integrar mecanismos de retroalimentación cognitiva. Su diseño en forma de guante da mayor control del mismo sobre los movimientos realizados en los dedos</p>	<p>El acceso al guante es ocasional debido a su uso institucional y el alto costo que significa adquirir uno para uso personal. Precisa de equipamiento adicional para su funcionamiento. Solo puede utilizarse en una mano.</p>

Rehabilitación funcional dinámica

Ítem	Características	Ventajas	Desventajas
<p>Figura 11. Anti-Spasticity Ball Splint</p> 	<p>Férula dinámica que permite a personas con desordenes musculares en sus manos mantener una posición que los evite mediante una barra de aluminio inserta en una superficie en lona que envuelve la muñeca. A su vez, este elemento posibilita ejercitar las articulaciones metacarpo falángicas para propiciar una mejora funcional en la mano mediante la prensión de una bola de espuma suave.</p> <p>Precio: \$ 92.900 COP</p> <p>Tomado de: http://www.aliexpress.com/item/Top-Quality-Anti-Spasticity-Ball-Splint-Hand-Functional-Impairment-Finger-Orthosis/1686270317.html</p>	<p>Permite mantener la muñeca en su posición natural.</p> <p>Permite mayor estimulación de los dedos al vencer la resistencia opuesta por la bola de espuma, debido a la textura de la misma.</p>	<p>Su precio es elevado considerando los materiales y procesos de fabricación empleados.</p> <p>La resistencia opuesta por la bola de espuma siempre es la misma, lo cual dificulta la pensión de la misma por personas sin la fuerza para vencer dicha resistencia.</p>

Tabla 4. Soluciones orientadas a permitir la rehabilitación funcional de la mano de manera estática

<i>Rehabilitación funcional no dinámica</i>			
Item	Características	Ventajas	Desventajas
<p>Figura 12. Preformed Anti-Spasticity Hand Splint</p> 	<p>Férula que permite inhibir los patrones anormales de flexo de muñeca y dedos en garra al impedir el movimiento de la mano y la muñeca mediante un cono y una base respectivamente. Este elemento pesa aproximadamente 90 gramos y está hecho en un polímero termoestable que permite reajustar sus dimensiones a las requeridas por el usuario mediante pistola de calor.</p> <p>Precio: \$ 99.350 COP</p> <p>Tomado de: https://www.ncmedical.com/item_767.html#!prettyPhoto</p>	<p>Permite mantener la muñeca en su posición natural.</p> <p>Es de fácil fabricación al estar compuesto de una sola pieza.</p> <p>Permite ajustarse a las dimensiones corporales de cada usuario.</p>	<p>Solo puede utilizarse por en una sola mano.</p> <p>Carece de un apoyo o ajuste que lo mantenga fijo a la mano.</p>
<p>Figura 13. Anti-spasticity hand immobilisation splint</p> 	<p>Férula que permite prevenir deformidades y reflejos inhibitorios en la muñeca y los dedos de la mano causados por enfermedades que generen desordenes motrices. Este elemento está compuesto por un termoplástico y tres correas que permiten ajustar y mantener en una posición fija la muñeca y los dedos de la mano.</p> <p>Tomado de: http://www.ortiman.com/en/product/anti-spasticity-hand-immobilisation-splint/</p>	<p>Permite ajustarse con el brazo para evitar la caída o desacople de la misma.</p> <p>Permite ajustarse a las dimensiones corporales de cada usuario.</p>	<p>El proceso de ajuste resulta dispendioso al precisar de una pistola de calor.</p> <p>La extensión completa de la mano puede resultar muy dolorosa si quien usa la férula presenta mucho desequilibrio muscular.</p> <p>Solo puede utilizarse en una mano.</p>
<p>Figura 14. Omnipro Flex Mano WHFO</p>	<p>Ortesis fabricada en tejido transpirable que permite evitar la contracción severa de la mano en</p>	<p>La superficie que recubre el antebrazo permite inhibir la flexión de la muñeca.</p>	<p>Solo puede utilizarse en una mano.</p>

Rehabilitación funcional no dinámica

Item	Características	Ventajas	Desventajas
	<p>personas con artritis reumatoide o espasticidad. Consta de un elemento cilíndrico ajustado con una correa de lona el cual envuelve la palma de la mano y una superficie que recubre el antebrazo y la muñeca.</p> <p>Tomado de: http://acplus.com/products/pages/specialty-orthotic-devices.aspx</p>	<p>El material del cilindro dispuesto en la mano permite un uso cómodo de la férula mientras es usada.</p>	<p>La falta de un ajuste entre las falanges del dedo y el cilindro evita la estimulación de estas, en caso de encontrarse hiperextendidas.</p>

Tras analizar las anteriores soluciones al considerar sus ventajas y desventajas, se puede concluir de manera general que estas procuran, en la categoría de participación, facilitar su agarre al alterar su forma o la manera en la que se acoplan a la extremidad superior para evitar su caída o el volcamiento de alimentos mientras son transportados a la boca. Para conseguir este último objetivo también se observan variaciones en la forma de las superficies sobre las cuales se encuentra dispuesto el alimento.

Por su parte, las soluciones orientadas a la rehabilitación funcional dinámica y estática, procuran mantener posturas adecuadas en la extremidad y evitar aquellas que puedan significar el aumento de un patrón espástico en la mano. A su vez, las soluciones orientadas a la rehabilitación dinámica incluyen varios niveles de resistencia al movimiento para evitar sobre esfuerzos durante la realización de la terapia física y por ende algún riesgo en la integridad física de la persona, dada la variabilidad inter e intrapersonal del tono muscular.

2. ANÁLISIS DE TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN FÍSICA

2.1 VIABILIDAD Y ALCANCES DE LAS TÉCNICAS RESEÑADAS

Dada la variabilidad de las afectaciones que la espasticidad produce en las diferentes estructuras corporales que ésta compromete, los alcances de las técnicas orientadas a la recuperación funcional de una persona con este desorden motor son igualmente variables. Por tal razón, a continuación, se reseñan las consideraciones particulares de las técnicas estudiadas para recuperar funcionalmente la mano, así como su viabilidad en función de las cuatro fases evolutivas de la espasticidad referidas anteriormente.

Cabe aclarar que, en la tabla presentada a continuación, las fases 1, 2, 3 y 4, corresponden respectivamente a los estadios de: espasticidad temprana, actitud viciosa, retracción muscular y deformidad osteoarticular.

Tabla 5. Viabilidad emitida por profesionales en el tratamiento de la espasticidad sobre las diferentes técnicas utilizadas como tratamiento físico de este desorden motor.

Técnica	Consideraciones de la técnica para ser aplicada en la mano	Viabilidad según fase			
		Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Tratamiento postural	Debe realizarse de forma suave y pasiva para evitar posiciones nocivas en la mano derivadas de la espasticidad tales como la flexión excesiva de la muñeca y los dedos.	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
		Si	Si	Si	Si
Estiramientos de la musculatura espástica	Es una de las técnicas más utilizadas, la cual consiste en aplicar una fuerza de manera lenta y progresiva para elongar la musculatura agonista	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
		Si	Si	Si	No

Técnica	Consideraciones de la técnica para ser aplicada en la mano	Viabilidad según fase			
	de la mano, tomando precaución de estirar el músculo hasta un punto permisible por la mano para evitar una contractura.				
Movilizaciones articulares	Se realiza en las articulaciones de la muñeca y las falanges de los dedos respectivamente de forma suave y gradual. A su vez se debe tener precaución en las últimas fases espásticas para no causar una fractura en la estructura afectada.	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
		Si	Si	Si	No
Contracciones isométricas	Poco utilizado en niños con PCI, debido a la dificultad que presenta un músculo espástico para mantenerse estático en una posición tras recibir una contracción isométrica.	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
		Si	No	No	No
Crioterapia	En niños con PCI se utiliza con mayor frecuencia la aplicación de frío localizado sobre la musculatura espástica durante un tiempo superior a 15 minutos para favorecer el relajamiento y el estiramiento del músculo afectado. Por su parte este mecanismo debe ser complementado con otra técnica debido a que sus efectos aislados son temporales.	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
		Si	Si	Si	Si
Vibración	Generalmente aplicadas sobre el músculo antagonista en su unión miotendinosa, precisa de equipo y se recomienda utilizar durante un periodo de no máximo 2 minutos ya que puede causar molestias a quien se le aplique. A su vez, se encuentra la posibilidad de que este mecanismo pueda acentuar el desorden motor.	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
		Si	Si	Si	Si
Facilitación Táctil	Debe ser realizada a nivel de los dermatomas de la piel sobre la musculatura espástica para relajarla o sobre la musculatura antagonista para estimular su activación.	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
		Si	Si	Si	Si
Masajes	Deben realizarse de forma, profunda y suave, aplicando presiones circulares sobre la	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
		Si	Si	Si	Si

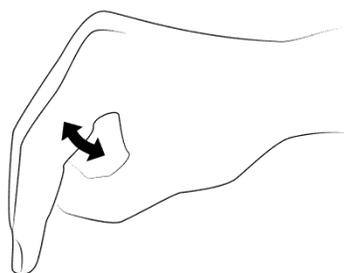
Técnica	Consideraciones de la técnica para ser aplicada en la mano	Viabilidad según fase			
	articulación y el cuerpo del musculo espástico.				
Electro estimulación FES	Aunque hay estudios que demuestran su aplicación para mejorar la función de la mano al aplicar estimulación eléctrica en los extensores de los dedos cerca de la muñeca, es poco utilizada en niños con PCI debido a sus efectos colaterales y variabilidad de la frecuencia utilizada en cada niño.	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
		Si	Si	Si	Si
Biorregulación	Deben aplicarse electrodos en la musculatura espástica encargada de flexionar los dedos y/o la muñeca, los cuales mediante un equipo compuesto por un electromiografo distinguirán entre una contracción voluntaria o espástica, la cual debe presentársele al niño por medio de un estímulo visual o auditivo.	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
		Si	Si	Si	No

2.2 DEFINICIÓN Y ARTICULACIÓN DE UNA TÉCNICA DE REHABILITACIÓN FÍSICA

Dado el movimiento de presión realizado por la mano al momento de sujetar un instrumento, además la aplicabilidad de la técnica de *movilizaciones articulares* a un gran rango de población con PCI, a excepción de aquellos cuya estructura corporal afectada se encuentre en fase de deformidad osteoarticular; esta técnica de rehabilitación física se encuentra conveniente para ser vinculada al artefacto planteado. Por otra parte, cabe destacar que esta técnica, junto con el *estiramiento mantenido de la musculatura espástica*, son los mecanismos de rehabilitación física más utilizados en el tratamiento de la espasticidad al evitar su cronicidad mediante ejercicios dinámicos que estimulan la plasticidad, viscosidad y elasticidad de los músculos agonistas y antagonistas.

Entretanto, esta técnica permite facilitar el arranque del movimiento e intensificar el grado de conciencia motora durante su ejecución. Para ello es conveniente su realización de manera lenta, iniciando el recorrido por las articulaciones proximales y acabando en las más distales. Cabe aclarar que, el final del recorrido articular debe realizarse con mayor precaución ya que esta parte del movimiento puede presentar un ligero estiramiento del músculo espástico, lo cual puede ocasionar dolor o favorecer la aparición de osificaciones alrededor de las articulaciones³³. Con base en lo anterior y dado que el patrón espástico a reducir tras dar cumplimiento a la actividad alimentaria, es el de dedos en garra, se propone que la movilización en cuestión sea efectuada mediante la flexión y extensión de las falanges de los dedos índice, corazón, anular y meñique; en donde el mayor recorrido articular sea descrito en sus partes más proximales (Figura 15).

Figura 15. Movilización articular planteada



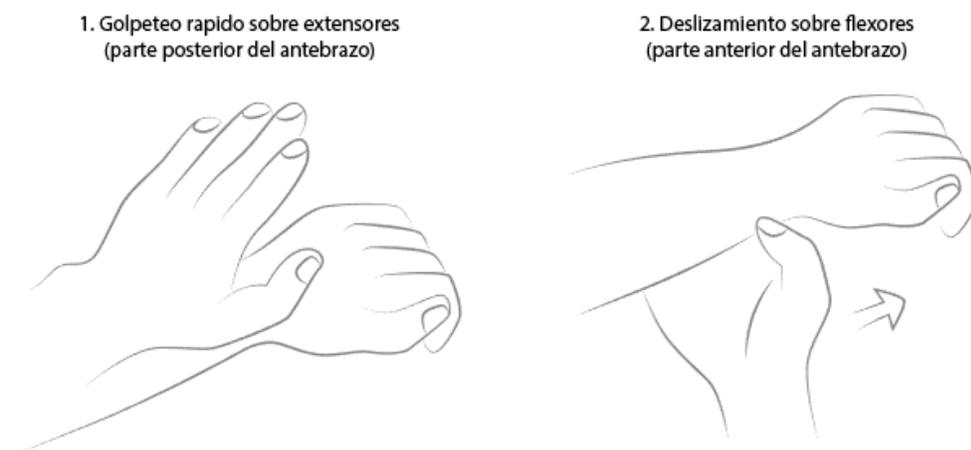
Por otro lado, técnicas como la crioterapia, facilitación táctil, golpeteo, masajes, y vibración, permiten en gran medida relajar la musculatura espástica antes de la realización de una actividad muscular, lo cual posibilita la ejecución de movilizaciones articulares y estiramientos de la musculatura espástica de manera más cómoda para el niño. A su vez, cabe citar que, protocolos de tratamiento

³³ Juan García, F. J. *Evaluación clínica y tratamiento de la espasticidad*. Madrid: Médica panamericana. 2009

físico para la espasticidad tales como Kabat y Rood³⁴, incluyen efectuar una técnica de relajación antes de realizar contracciones con la musculatura espástica. Ahora bien, los procedimientos prácticos empleados por terapeutas para generar la apertura ágil de la mano en niños con PCI espástica mediante la estimulación táctil, indican en primera instancia la realización de un golpeteo sobre los músculos extensores de los dedos en su parte más proximal a la muñeca. Posteriormente, se aconseja deslizar la mano de quien realiza la estimulación sobre los músculos flexores de los dedos del niño, ubicados en la parte anterior del antebrazo, de manera ascendente hacia la muñeca.

Consecuente con lo anterior, se sugiere que, previo al estiramiento de las falanges de los dedos durante el desarrollo de la actividad alimentaria, se adopte el protocolo de estimulación táctil indicado (Figura 16), como técnica de, relajación de la musculatura agonista espástica, y activación de la estructura antagonista afectada inherentemente por este desorden motor.

Figura 16. Pasos para estimular la apertura de la mano de un niño con PCI espástica previo a una movilización articular



³⁴ García, E. Fisioterapia de la espasticidad: técnicas y metodos. *Fisioterapia*, 26(1), 25-35. 2004

3. ANÁLISIS DE NECESIDADES

La identificación de las necesidades asociadas a la alimentación de un niño con PCI espástica mediante el análisis del contexto, así como de los elementos ambientales y objetuales que circundan esta actividad permiten definir de manera clara las especificaciones de diseño para que la solución planteada cumpla eficazmente su propósito.

3.1 ANÁLISIS DEL CONTEXTO

La ciudad de Bucaramanga cuenta con diferentes organizaciones que acompañan la rehabilitación de la población discapacitada, entre ellas la *fundación amigos de los niños con discapacidad* FANDIC, cuya sede principal se encuentra ubicada en el barrio Antonia Santos y atiende a población infantil con discapacidad motriz y cognitiva consecuentes de patologías tales como la PCI. El objetivo de esta fundación es la integración social de niños con discapacidad que se encuentren en entornos socio-económicamente vulnerables. Para ello la fundación FANDIC cuenta con un equipo de rehabilitación que comprende las áreas de fisioterapia, terapia ocupacional, fonoaudiología, psicología y trabajo social. A su vez, esta organización cuenta con un espacio didáctico en donde sus asistentes desarrollan diferentes actividades lúdicas durante el transcurso de la mañana, una vez realizada su terapia de rehabilitación en las áreas descritas anteriormente.

Tras finalizar las actividades de rehabilitación, los niños regresan en un vehículo de la fundación a sus lugares de residencia, ubicados en los barrios Esperanza, Villa Rosa, Pablón y Café Madrid en el norte de la ciudad de Bucaramanga. Este sector es de difícil acceso y presenta altos niveles de inseguridad que constituyen

un riesgo la población infantil. Por tal razón los niños pasan la mayor parte del tiempo en sus hogares acompañados de un adulto responsable, que en la mayoría de los casos es su madre, quien cuida y asiste las necesidades básicas que el niño es incapaz de realizar autónomamente.

Las visitas realizadas a esta fundación permitieron estructurar el problema y definir a la población de estudio mediante la observación de la actividad alimenticia de los niños en un ambiente que simula su hogar y las diferentes técnicas terapéuticas que apoyan su rehabilitación. De igual forma, esta organización facilitó el acceso a los sitios de residencia de la población específica para definir y analizar las características de la actividad alimenticia dentro del hogar, tal como se evidencia a continuación.

a. Definición de la población

La fundación FANDIC atiende un total de 10 niños con PCI, que se encuentran en un rango de edad de 5 a 18 años, los cuales presentan patrones espásticos en varias estructuras corporales, siendo las extremidades las más afectadas. Consecuentemente, su movilidad se encuentra reducida debido al efecto que la espasticidad tiene sobre las propiedades físicas de sus extremidades inferiores, lo cual hace que gran parte de esta población se encuentre en silla de ruedas. De igual forma, la injerencia de este desorden motor sobre las extremidades superiores de los niños afecta su motricidad fina, lo cual entorpece o impide en muchas ocasiones la prensión y el control de objetos que asisten la realización de actividades tales como la vestimenta, alimentación y el aseo personal; así como las tareas desarrolladas dentro de la fundación tales como cortar, separar, doblar y dibujar.

Figura 17. Población con PCI espástica efectuando la actividad alimentaria.



Por otra parte, esta población presenta afectaciones cognitivas que alteran sus capacidades comunicativas e intelectuales, lo que, en varios casos, sumado a al compromiso motor derivado de la espasticidad, aumenta la dificultad para comprender el fin de una actividad y por tanto el uso de los elementos que asisten la misma.

Ahora bien, debido a la variabilidad de las características de la población con PCI espástica, se hace necesario controlar una serie de variables para obtener una retroalimentación efectiva de los factores de medición evaluados en la solución de diseño. Para ello son seleccionados 4 niños en el rango etario de 10 a 18 años, los cuales, no presentan contracturas o deformidades osteoarticulares en la mano, así como afectaciones sensoriales severas en la vista y la audición. A su vez, estos tienen la habilidad cognitiva para diferenciar y emitir un juicio sobre dos conceptos opuestos, así como para comprender una instrucción básica y ejecutarla. Finalmente, cabe aclarar que, estas características no se constituyen como factores de inclusión sobre el uso del artefacto a excepción del rango etario y la fase espástica advertida.

b. Descripción y análisis de los casos de estudio

Con el fin de realizar un ejercicio descriptivo sobre la alimentación de la población establecida, se visitan las casas de los niños con PCI en horas de la mañana para observar en su ambiente habitual, las características y consideraciones de la actividad alimentaria del menor, que para el caso particular comprende el desayuno. Para ello se documentan las particularidades del espacio, mobiliario e instrumentos o aditamentos empleados para asistir la alimentación. A su vez, este ejercicio es apoyado por registro fotográfico, el cual se presenta a continuación junto a la descripción de cada caso de estudio.

Cabe aclarar que, el registro y uso del material audiovisual fue autorizado por los niños y padres que participaron del presente trabajo como sujetos de estudio, mediante un asentimiento y consentimiento informado respectivamente. Este último puede observarse en el *Anexo A* del presente estudio.

Participante 1

Tabla 6. Descripción de la actividad alimentaria del participante 1

Características del participante	
Fase espástica de la mano	Retracción muscular
Grado de espasticidad del brazo*	1 (Brazo derecho)
Hora de la visita	8:30 a.m. (desayuno)
Características del espacio	
Generales	Casa ubicada en el sector norte de la ciudad, la cual cuenta con dos habitaciones, patio, un baño, cocina y una sala - comedor. La niña puede desplazarse de manera autónoma por los diferentes espacios de la casa y su alimentación es realizada al lado de su madre y hermanas en el comedor familiar de 4 puestos, el cual se encuentra junto a la cocina.
Particulares	La niña realiza su alimentación en un comedor de madera que se encuentra a la altura de su pecho en posición sedente. La silla en la cual se sienta la menor también es de madera y posee una superficie mullida en el asiento. El alimento es dispuesto generalmente en un plato de porcelana o

Características del participante	
Fase espástica de la mano	Retracción muscular
Grado de espasticidad del brazo*	1 (Brazo derecho)
Hora de la visita	8:30 a.m. (desayuno)
	plástico, y la cuchara tradicional metálica o las propias manos, son utilizadas para asistir la actividad alimenticia.
Dinámica de la actividad alimenticia	
Alimento	Caldo de huevo y papa
<p>El plato y una cuchara son dispuestos en el individual por la madre del menor, seguidamente, la niña sujeta el extremo de la cuchara mediante la oposición del pulgar con el dedo índice flexionado. A su vez, el dedo medio, el cual se encuentra en posición de garra, sirve de punto de apoyo para aumentar la resistencia opuesta por la pinza descrita sobre la fuerza ejercida por el peso de la cuchara y los alimentos dispuestos en ella. A continuación, la niña dosifica el alimento con este cubierto y lo transporta del plato a su boca, bajando un poco la cabeza para evitar que el alimento caiga durante su transporte. Por otro lado, la menor frecuentemente mueve su cabeza hacia atrás para facilitar la ingesta del alimento. Una vez realizada la actividad alimenticia, la niña lleva el plato hasta la cocina.</p>	
<p>*Según escala de ashworth modificada tras estar en movimiento (Evaluado por un fisioterapeuta de la fundación FANDIC)</p>	

Figura 18.

Participante 2

Tabla 7. Descripción de la actividad alimentaria del participante 2

Características del participante	
Fase espástica de la mano	Actitud viciosa
Grado de espasticidad del brazo*	1 +
Hora de la visita	8:00 a.m. (desayuno)
Características del espacio físico	
Generales	Casa ubicada en sector norte de la ciudad, la cual cuenta con dos habitaciones, un baño, patio, cocina y un espacio multimodal que sirve de sala, comedor y tienda. El niño come en una silla de ruedas a la cual se le realizó una adaptación para que pueda comer en ella. Esta última es ubicada alrededor del comedor (almuerzo) o la terraza de su casa (Desayuno-Cena). El transporte del niño a la silla de ruedas es asistido por sus padres quienes lo cargan hasta ella.
Particulares	<p>La silla de ruedas en la cual come el niño se le ha adaptado una tabla de formica sujeta por un par de bandas elásticas que la mantienen fija. De igual forma, se dispone una butaca bajo los pies del menor.</p> <p>Los alimentos están dispuestos en un plato tradicional, de plástico o porcelana. A su vez, el niño asiste su alimentación con una cuchara tradicional metálica o con sus propias manos y toma las bebidas que acompañan la comida en un pocillo plástico. La manipulación de este último elemento es realizada muchas veces con cierta dificultad, por lo cual en ciertas ocasiones los padres disponen un pitillo en el mismo.</p>

Figura 19.

Dinámica de la actividad alimenticia	
Alimento	Sándwich y jugo de naranja
<p>El plato y el vaso son dispuestos por alguno de los padres del menor en la tabla adaptada a la silla de ruedas. Seguidamente el niño toma el alimento con su mano izquierda, lo posiciona en dirección a su boca y luego lleva esta hacia la comida para ingerirla. Por otra parte, quien acompaña al niño le hace hincapié en llevar la comida hacia la boca y evitar que sea esta quien se acerque al alimento con el fin de mantener la cabeza erguida. Ahora bien, el alimento es sujetado con dificultad mediante una pinza digital derivada de la oposición del pulgar con los dedos índice y medio. Por su parte, la muñeca permanece flexionada a 90° durante el desarrollo de la actividad.</p>	
<p>*Según escala de ashworth modificada tras estar en movimiento (Evaluado por un fisioterapeuta de la fundación FANDIC)</p>	



Figura 20.

Participante 3

Tabla 8. Descripción de la actividad alimentaria del participante 3

Características del participante	
Fase espástica de la mano	Actitud viciosa
Grado de espasticidad del brazo*	1 +
Hora de la visita	11:30 a.m. (almuerzo)
Características del espacio	
Generales	<p>Casa construida en tablonces de madera y láminas de zinc, ubicada en una urbanización del barrio Café Madrid de la ciudad. La edificación cuenta con dos habitaciones, que carecen de entrada de luz natural, un baño, y un espacio multimodal compartido con otras familias, que sirve de cocina y patio. En la habitación principal se encuentra una mesa especialmente dispuesta para la alimentación de la menor, la cual es colocada al frente del televisor al momento de la actividad alimenticia. Sus padres y su hermano comparten este mismo espacio sentados alrededor de la niña durante las comidas.</p>
Particulares	<p>La niña realiza su actividad alimentaria sentada en una silla de varillas de acero y cuerdas de PVC, en frente de la cual es dispuesta una mesa de madera que se encuentra a la altura de sus rodillas en posición sedente. Los alimentos son dispuestos en un plato, generalmente de plástico, y la cuchara tradicional metálica o las propias manos son utilizadas para dosificar y transportar la</p>

Características del participante	
Fase espástica de la mano	Actitud viciosa
Grado de espasticidad del brazo*	1 +
Hora de la visita	11:30 a.m. (almuerzo)
	comida. Cabe decir, que las cucharas se encuentran dobladas por la fuerza imprimida por la menor al momento de sujetarla. Por otra parte, los líquidos siempre son servidos en vasos plásticos.
Dinámica de la actividad alimenticia	
Alimento	Frijoles, huevo, arroz y jugo de naranja
<p>La menor tiene movilidad reducida, por tanto, siempre es movilizadada por alguno de sus padres desde la cama hasta la silla en la cual ve televisión y come. Una vez sentada, en frente de ella es dispuesta una mesa sobre la cual son colocados el plato, la cuchara y el vaso de jugo.</p> <p>Seguidamente, la menor toma la cuchara mediante una pinza derivada de la oposición del pulgar con el dedo medio sobre el mango de la cuchara. A su vez, el dedo índice sirve como apoyo sobre el extremo distal del cubierto. Una vez sujeta la cuchara, la niña dosifica los alimentos e inclina un poco su cabeza hacia abajo para evitar la caída de la comida durante su transporte del plato a la boca. Por otra parte, la sujeción del vaso es realizada por el extremo superior del mismo mediante una pinza derivada de la oposición del pulgar con los dedos índice y medio. Una vez terminada la actividad alimenticia, sus padres recogen el plato, el vaso, el cubierto y disponen la mesa a un lado de la silla.</p>	
*Según escala de ashworth modificada tras estar en movimiento (Evaluado por un fisioterapeuta de la fundación FANDIC)	

Figura 21.

Participante 4

Tabla 9. Descripción de la actividad alimentaria del participante 4

Características del participante	
Fase espástica de la mano	Retracción muscular
Grado de espasticidad del brazo*	1
Hora de la visita	9:00 a.m. (desayuno)
Características del espacio	
Generales	Casa ubicada en el barrio Olas Bajas de la ciudad, compuesta por 3 habitaciones, patio, cocina, y un espacio multimodal que sirve de sala, comedor y taller de modistería. La cocina se encuentra junto a la sala donde hay una mesa que sirve de comedor y puesto de trabajo para realizar el corte de telas.
Particulares de la actividad	El niño realiza su actividad alimenticia sentado en una silla de ruedas dispuesta en frente a una mesa que se encuentra a la altura de sus hombros en posición sedente. Los alimentos son dispuestos en un plato de porcelana o plástico y la cuchara metálica tradicional o las manos son utilizadas dosificar y transportar la comida. Por otra parte, los líquidos son generalmente servidos en un vaso de plástico.
Dinámica de la actividad alimenticia	
Alimento	Huevo, pan y agua de panela.
Inicialmente el niño, ayudado de su madre, se desplaza en su silla de ruedas desde su habitación o la terraza de su casa, hasta la mesa que sirve de comedor en la sala multipropósito. Una vez allí, su madre ubica el plato, el vaso y una cuchara, la cual el niño procede a sujetar mediante, una presa palmar realizada por la prensión de los dedos medio, anular y meñique sobre la cuchara; y una pinza digital derivada de la oposición del pulgar y el dedo índice sobre la parte más proximal del mango de la cuchara. Por otra parte, el pan es sujetado y transportado por la mano desde el plato a la boca gracias a la prensión resultante de la oposición del pulgar y los dedos índice y medio de la mano. Este último movimiento también es realizado para agarrar y transportar el	



Figura 22.



Figura 23.

Características del participante	
Fase espástica de la mano	Retracción muscular
Grado de espasticidad del brazo*	1
Hora de la visita	9:00 a.m. (desayuno)
vaso. Una vez terminada la actividad alimenticia, la madre del niño retira el plato, la cuchara y el vaso de la mesa para efectuar su lavado.	
*Según escala de ashworth modificada tras estar en movimiento (Evaluado por un fisioterapeuta de la fundación FANDIC)	

Necesidades Identificadas

Una vez observada la alimentación del niño y las particularidades con las cuales se desarrolla esta actividad en los casos de estudio señalados anteriormente, se refieren las siguientes dificultades y consideraciones:

- La sujeción del cubierto se dificulta debido a la precisión requerida por la forma y dimensiones del mango para ser agarrado y posteriormente transportado para dosificar y transportar el alimento.
- Una vez transportados a la boca, los alimentos tienden a salirse de ella debido a la inactividad de los labios, especialmente el inferior, para quitar la comida de la cuchara.
- Durante el transporte de la comida desde el plato a la boca, se presentan frecuentemente caídas de los alimentos, cuando estos se encuentran en raciones muy pequeñas o son líquidos (sopas).
- Debido a la dificultad para la realización de una pinza manual que sujete al cubierto o al alimento directamente, el tono muscular del niño es aumentado para tener mayor control sobre el elemento manipulado, lo cual impide en muchas ocasiones la utilización de los dedos medio, anular y meñique en la

sujeción de los alimentos o el elemento que asista la dosificación y el transporte de los mismos.

- Cuando hay un patrón espástico severo de flexión de muñeca, la dosificación y transporte del cubierto se hace más complicada debido a la dificultad para mantener la pala de la cuchara en posición horizontal una vez sujeta.
- Ante la imposibilidad de sujetar el vaso con las dos manos o una presa palmar, los niños lo sujetan por la boca del mismo mediante una pinza digital en donde los dedos entran en contacto con el líquido y éste suele regarse durante el transporte del vaso hacia la boca.

Por otra parte, la única variación en el mobiliario u objetos tradicionales empleados para desarrollar la actividad alimenticia, fue la adaptación de una tabla y una butaca a la silla de ruedas de un participante para disponer el plato más cerca de su boca y evitar que sus piernas no estén suspendidas y adopten una postura desfavorable.

De forma paralela a la observación realizada en los lugares de residencia de los niños con PCI espástica, es realizada una entrevista a sus padres y/o cuidadores con el fin de indagar necesidades, no percibidas en el proceso de observación, circundantes alrededor de la actividad alimentaria de esta población. Como resultado, a continuación, se encuentra una serie de consideraciones expuestas por quienes asisten la actividad alimentaria de esta población que, junto con las necesidades identificadas, justifican los requerimientos de la solución a diseñar.

Tabla 10. Interpretación de las necesidades expuestas por cuidadores de la población con PCI.

Necesidad/ consideración expuesta	Necesidad interpretada
Los alimentos no deben presentar altas temperaturas por si se vuelca el plato al momento de la dosificación del alimento ya que el niño puede quemarse sus brazos.	Los elementos que asisten la alimentación deben evitar el volcamiento o caída de la comida durante su dosificación y transporte a la boca.
Se debe evitar darle sopas al niño porque el líquido se riega de la cuchara.	Se debe prevenir la caída de líquidos o solidos durante su transporte desde el plato a la boca.
Los vasos no deben ser de vidrio porque si se rompen por la fuerza impresa para sujetarlo el niño puede cortarse	Se deben evitar materiales que puedan quebrarse o causar algún riesgo físico tras la impresión de fuerza durante su manipulación.
El alimento debe estar picado para facilitar su control e inserción en la boca.	El elemento que asiste la alimentación del niño debe evitar la caída de la comida y facilitar su inserción en la boca.
Las cucharas se encuentran dobladas por la fuerza impresa sobre las mismas al sujetarlas.	El elemento que asiste la alimentación debe evitar una sujeción que conlleve el aumento del tono muscular. A su vez, este debe resistir a la fuerza máxima impresa por la mano de un niño de 18 años.
La alimentación asistida con un tenedor es peligrosa ya que sus dientes pueden clavarse en el rostro del niño o en el interior de su boca.	El elemento que asiste la alimentación debe evitar lastimar la boca o el rostro del niño.
La mano y el brazo que queda libre mientras el niño come debe ponerse encima de la mesa para mantener tratamiento postural en esta estructura corporal.	La actividad alimenticia debe procurar articular las dos manos o en su defecto mantener aquella que no se utilice en una postura adecuada.
Hay que enseñarle y ayudarle al niño a sujetar la cuchara y el vaso por donde es	Los elementos que asisten la alimentación del niño deben ser de fácil acondicionamiento a la mano o las partes de ella que lo manipulen.

A su vez, un patrón frecuentemente observado durante el desarrollo de la actividad en cuestión, es la partición del alimento en pequeños pedazos cuando estos son de gran tamaño o difícil sujeción. Ahora bien, esta particularidad no solo se debe a la falta de control sobre la comida, sino que responde a dificultades de

masticación y deglución, comúnmente presentadas en niños PCI. Por tal razón está característica del alimento se toma como una variable independiente del desarrollo la actividad.

3.2 ESPECIFICACIONES DEL ARTEFACTO PARA LA ASISTENCIA ALIMENTARIA DE LA POBLACIÓN CON PCI

Las especificaciones del artefacto en mención hacen referencia a las diferentes características que este debe tener para complementar la rehabilitación del menor durante la realización de su actividad alimentaria. Estas especificaciones, referidas en forma de atributos, son definidas con base en las consideraciones y dificultades, propias de la alimentación de un niño con PCI espástica, observadas previamente. Así pues, a continuación, se presenta una tabla en donde para cada atributo, se expone la descripción general del mismo y su justificación asociada a la actividad estudiada.

Tabla 11. Definición de los atributos del artefacto a diseñar

Atributo	Descripción general	Justificación particular
Liviano	De poco peso o ligero en su manipulación	El peso del artefacto se constituye como factor relevante para disminuir significativamente el esfuerzo requerido por un niño con PCI para manipularlo, debido a su motricidad fina reducida y la falta de control sobre el tono muscular de su mano.
Uso fácil	De sencilla y evidente manipulación al momento de dosificar y transportar el alimento.	Dificultad para dosificar una porción de alimento y la constante caída de este durante su transporte hacia la boca del niño con PCI. De igual manera, este atributo responde a la posibilidad de que el niño con PCI presente compromiso cognitivo y por tanto se le dificulte asociar la manipulación y el uso del artefacto con la actividad en cuestión.

Atributo	Descripción general	Justificación particular
Uso seguro	De ningún riesgo para la integridad física del niño durante su manipulación.	Adopción de posiciones en la mano que pueden empeorar los patrones espásticos ya presentados en esta estructura corporal, ante la dificultad que tiene un niño con PCI para sujetar el cubierto tradicional que asiste su alimentación. De igual manera, este atributo responde los constantes choques de los cubiertos tradicionales contra el rostro de los menores.
Uso adaptable a ambas manos	De manipulación accesible con cualquiera de las dos manos.	Variabilidad interpersonal de la mano dominante de la población en general.
Fácil uso	De poco esfuerzo motriz al momento de su sujeción.	Dificultad inherente a la manipulación del cubierto tradicional tras requerir una pinza digital de precisión para su agarre, lo cual lleva a que se aumente el tono muscular del menor.
Resistente	De materiales consistentes tras aplicar una fuerza de presión involuntaria.	Probabilidad de aplicar una fuerza de presión elevada sobre el artefacto tras un aumento involuntario del tono muscular de la durante el desarrollo de la actividad alimentaria.
Forma anatómica	De forma adaptable a las proporciones y dimensiones de la mano.	Dificultad para manipular un elemento con dimensiones y geometrías ajenas a la motricidad de un niño con PCI.
Superficie con textura	De superficie estriada o surcada en sus segmentos en contacto con la mano.	Dificultad para agarrar y transportar el cubierto desde el plato a la boca sin que este se vuelque o se suelte de la mano que lo está sujetando.

Una vez determinados los atributos del producto, éstos se jerarquizan en función de su relevancia, la cual es referida por la población específica hacia la cual está dirigido el artefacto. Esto es posible mediante el método Kano³⁵, el cual es utilizado para clasificar los atributos del artefacto en Atractivos, Unidimensionales y Obligatorios. Para ello, inicialmente es realizada una serie de preguntas a la

³⁵ Martín, F., & Yacuzzi, E. El método Kano en el diseño de productos y servicios. *Interpharma*, 4(9), 24-30. 1997

población de estudio, en las cuales se indaga la relevancia de cada atributo mediante dos preguntas (una funcional y otra disfuncional) de selección múltiple (Tabla 12). Seguidamente, mediante una matriz que relaciona las respuestas del par de preguntas efectuadas para cada atributo y su incidencia dentro de una de las clasificaciones advertidas (tabla 13), es posible establecer y jerarquizar los requerimientos del producto. Cabe aclarar que, en el caso particular, el cuestionario es dirigido a una población de 11 sujetos constituidos por padres de familia o cuidadores de la población en cuestión para obtener mayor precisión en las respuestas requeridas, sin que esto interfiera en los intereses particulares del niño, debido al interés y experiencia de estas personas al asistir su actividad alimentaria. Ahora, una vez trazada la relevancia de cada atributo (tabla 14), es posible determinar los requerimientos del producto, así como el peso cuantitativo y el grado de cumplimiento de cada uno (tabla 15), lo cual, una vez generadas las alternativas de diseño, permite evaluarlas y seleccionar aquella que responda de forma más efectiva a dichos requerimientos.

Tabla 12. Estructura del par de preguntas (funcional y disfuncional) del método Kano

¿Cómo se siente si el artefacto es (Atributo)?	Me Agrada		
	Es algo básico		
	Normal		
	Puedo tolerarlo		
	Me molesta		
¿Cómo se siente si el artefacto no (Atributo)?	Me Agrada		
	Es algo básico		
	Normal		
	Puedo tolerarlo		
	Me molesta		

Tabla 13. Matriz de evaluación de atributos del Método Kano

Atributo		Pregunta disfuncional				
		Me gusta	Es algo básico	Me da igual	No me gusta, pero lo tolero	No me gusta y no lo tolero
Pregunta funcional	Me gusta	C	A	A	A	U
	Es algo básico	R	I	I	I	O
	Me da igual	R	I	I	I	O
	No me gusta, pero lo tolero	R	I	I	I	O
	No me gusta y no lo tolero	R	R	R	R	C

C: Cuestionable, R: Reversible, I: Indiferente, A: Atractivo, U: Unidimensional, O: Obligatorio

Tabla 14. Relevancia referida de cada atributo

Atributo	Relevancia
Es liviano	Obligatorio
Su uso es fácil	Unidimensional
Su uso es seguro	Obligatorio
Su uso es adaptable a ambas manos	Atractivo
Su agarre requiere poca precisión	Unidimensional
Es resistente	Obligatorio
Su forma es anatómica	Obligatorio
Su superficie posee textura	Atractivo

Tabla 15. Definición y ponderación de requerimientos

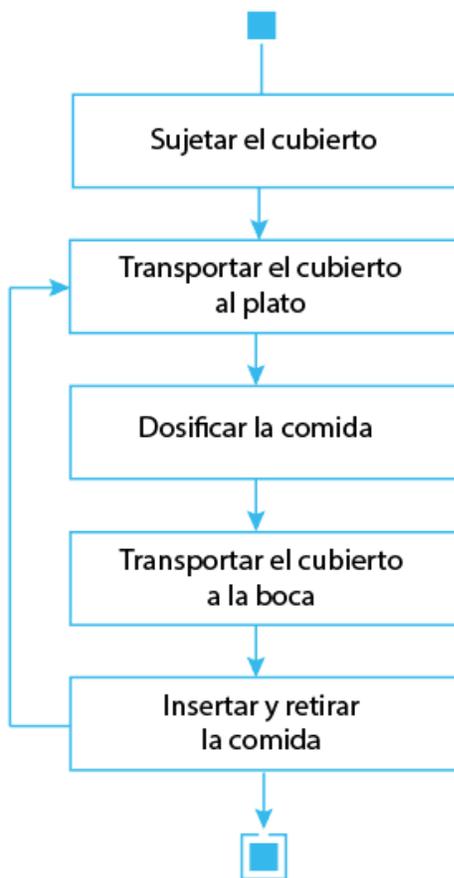
Atributo	Requerimiento	Peso	Grado de cumplimiento
Liviano	El artefacto debe ser liviano	11,7 %	< 50 gramos
Resistente	El artefacto debe resistir la fuerza prensil de un sujeto de 18 años	11,7 %	Resistencia a la tracción superior a 9 kg sobre el área manipulada
Forma anatómica	La forma del artefacto debe acoplarse a las características dimensionales de la	11,7 %	Dimensiones referentes a las medidas de la mano de un niño entre

Atributo	Requerimiento	Peso	Grado de cumplimiento
	mano de un niño con PCI		los 10 y 18 años.
Seguro	La forma del artefacto debe evitar lastimar el rostro del niño al insertar el alimento en la boca	11,7 %	Ausencia total de lesiones en el rostro
Seguro	El agarre y la movilización articular trazada por el artefacto debe evitar dolor alguno en la mano	11,7 %	Ausencia de dolor referido tras usar el artefacto (umbral de dolor)
Seguro / Fácil de usar	El artefacto debe dosificar y transportar una porción de comida sin que esta caiga	11,7 %	≤ 1 error o caída en la dosificación y transporte del alimento
Fácil de usar	El uso del artefacto debe prescindir de extensa preparación	8.8 %	Aprehensión del agarre y uso del artefacto tras una instrucción básica
Fácil de usar	El agarre del artefacto debe realizarse con una presa de poca precisión	8.8 %	-
Uso adaptable a ambas manos	El artefacto debe ser manipulable tanto con la mano izquierda como con la derecha	5.9 %	-
Fácil de usar / textura	La superficie o textura del artefacto debe facilitar su agarre	5.9 %	-

4. CONCEPTUALIZACIÓN DEL ARTEFACTO

Tras determinar los atributos del artefacto a diseñar, se vincula la movilización articular indicada con anterioridad a su esquema de uso, de tal manera que una de las acciones realizadas durante el desarrollo de la actividad alimentaria (Figura 24), sea efectuada mediante esta técnica de rehabilitación física.

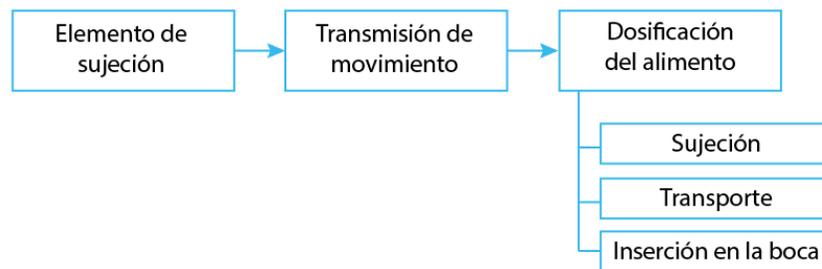
Figura 24. Acciones efectuadas durante el desarrollo de la actividad alimentaria.



4.1 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Tras definir una secuencia de acciones que plantean el uso del artefacto, se proponen tres alternativas, que responden en primera instancia, a la manera en que, una vez sujetado mediante una presa palmar cilíndrica, la cual sugiere una mejor sujeción del artefacto dada la falta de motricidad fina de la población con PCI; el mango pueda expandirse o contraerse para efectuar la movilización articular indicada. Seguidamente se plantean sistemas mecánicos que permitan transformar el movimiento anteriormente referido en un mecanismo que efectúe la sujeción de una porción de alimento. Finalmente, se configura la forma en la cual éste último, además de dosificar la comida, no permita que ésta se caiga y facilite su inserción en la boca del menor. Este esquema de ideación se presenta de manera más detallada mediante la siguiente figura:

Figura 26. Esquema para la generación de alternativas.

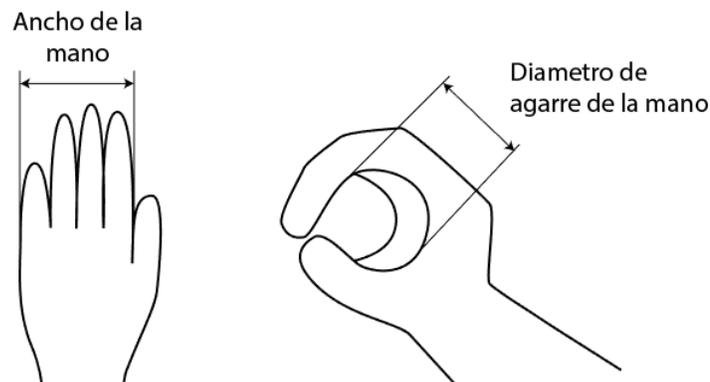


Antropometría y dimensionamiento del artefacto

Dado que la sujeción del artefacto está definida por una presa palmar cilíndrica, se toma como referencias antropométricas, el diámetro de agarre de la mano y el ancho de la mano como variables en el dimensionamiento de la solución propuesta (Figura 27). Ahora bien, dado el rango etario de la población hacia la cual está dirigido el artefacto (10 a 18 años), se toman las medidas concernientes

a un niño de 10 años como referencia³⁶, dado que siendo este el extremo menor de la población en mención, la ausencia de incomodidad en el agarre presentada por este individuo significará consecuentemente el mismo efecto en otro cuyos miembros superiores y diámetro de agarre sea mayor.

Figura 27. Variables antropométricas utilizadas para dimensionar el artefacto



a. Alternativa 1

Esta propuesta de diseño conserva la forma y proporciones de una cuchara, cubierto comúnmente utilizado para asistir la alimentación de la población con PCI espástica. Asimismo, esta alternativa propone un mango cuya sujeción sea realizada mediante una presa palmar cilíndrica para mejorar el control sobre el mismo. Para ello, se amplían sus dimensiones, con respecto a las presentadas por una cuchara, y se genera en este una transición formal para reducirlo a una corredera que, a su vez, permita su expansión para permitir la movilización articular indicada. Tal corredera, junto con el sistema mecánico presentado a continuación producen la apertura de dos palas, cuya concavidad es comparativamente mayor, con relación al cubierto en mención, para evitar que el alimento se caiga durante su transporte a la boca (Figura 28). A su vez, estas

³⁶ Ávila, R., Prado, L., & González, E. *Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana*. Guadalajara. 2007

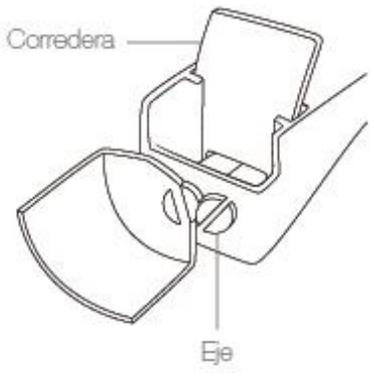
últimas se plantean en silicona para evitar que el menor se lastime al insertarlas en su cavidad bucal.

Figura 28. Descripción gráfica de la alternativa 1

Alternativa 1

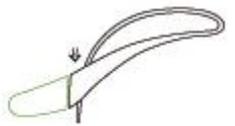


Sistema mecánico



Agarre

1. Presión sobre el artefacto



2. expansión de la corredera



b. Alternativa 2

Esta propuesta parte del concepto de aprisionar la comida tras ejercer presión sobre la superficie horizontal del plato tal y como lo hace un tenedor sobre ella. Esto con el fin de reemplazar la acción de cucharear, la cual frecuentemente constituye dificultades en el menor debido a que los alimentos tienden a caerse durante su cumplimiento. Para ello, inicialmente se configura el mango, cuyo agarre a diferencia del tenedor tradicional se propone de tal manera que sea manipulado mediante una presa palmar cilíndrica para mejorar el control sobre el mismo. Consiguientemente se plantea un mecanismo de transmisión de movimiento que permita la movilización articular indicada y la apertura de dos palas que ejecutan la dosificación del alimento, tras efectuar presión contra el plato (Figura 30). Estas últimas se plantean de tal manera que, una vez levantado el artefacto, se cierran para evitar la caída del alimento contenido en ellas. De igual forma, dichas palas, al igual que en la anterior alternativa se configuran en silicona para evitar lastimar al menor durante su inserción en la cavidad bucal.

Figura 29. Descripción gráfica de la alternativa 2

Alternativa **2**



c. Alternativa 3

Esta alternativa de diseño se propone de tal manera que el niño pueda efectuar de manera independiente el movimiento que genera de manera conjunta la dosificación del alimento y la movilización articular indicada, sin precisar un elemento externo como la superficie horizontal del plato. Esto con el fin de evitar un posible volcamiento de este último en caso que, las acciones señaladas anteriormente fuesen efectuadas tras presionarlo con el artefacto. Para ello, y en razón a los movimientos a realizar, se plantea un mango en forma de pinza, cuyas

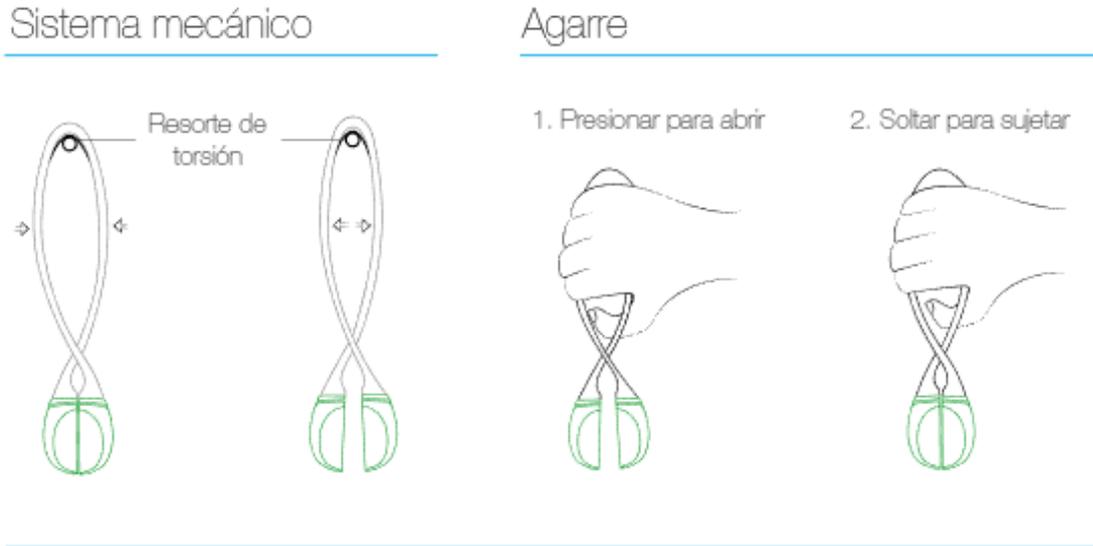
dimensiones permitan sujetarlo mediante una presa palmar cilíndrica para mejorar el control sobre el mismo (Figura 29). A su vez, la presión ejercida sobre este, permite la apertura de dos palas que efectúan la dosificación del alimento (Figura 31). Estas últimas al igual que las anteriores alternativas, se plantean tanto en silicona como con una forma y concavidad que, eviten respectivamente, lastimar al niño durante su inserción en la boca y la caída del alimento durante su transporte.

Figura 30. Descripción gráfica de la alternativa 3

Alternativa **3**



Figura 31. Descripción del funcionamiento de la alternativa 3



4.2 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

a. Comprobación mecánica virtual

Inicialmente, y con el fin de evaluar el comportamiento mecánico de las alternativas planteadas, tras someterse a la fuerza efectuada por el agarre y la presión descrita por la movilización articular indicada anteriormente, se realiza una simulación mecánica virtual, mediante el software Solidworks, para efectuar la comprobación de los requerimientos relacionados al peso y resistencia de las tres alternativas. Esta simulación está comprendida en primera instancia, por observar el cálculo del peso referido por cada propuesta una vez modelada en el CAD señalado. Para ello se toma como referencia la densidad del material a proponer.

Ahora bien, dado que el artefacto se encuentra en constante contacto con la comida, éste debe ser de fácil lavado y evitar cualquier posibilidad de contaminar el alimento por medio de un componente toxico en los materiales del artefacto que

pueda inferir algún riesgo para la integridad física del menor con PCI espástica. Con base en lo anterior, y debido a la exactitud dimensional que brinda la realización de un modelo funcional, una vez modelado en CAD, mediante la herramienta de impresión 3D; el Acrilonitrilo Butadieno Estireno, o ABS, se plantea como el material que constituya la parte relativa al mango del artefacto. Por otra parte, como ya se advirtió en las tres alternativas, el material referente a las palas que sujetan y llevan el alimento a la boca, son propuestas en silicona.

El ABS, es un material plástico, el cual, junto a otros polímeros tales como el polipropileno (PP) y el Polietileno (PE), son utilizados para la producción de diversos implementos que hacen parte de la actividad alimentaria, tales como platos, cubiertos y vasos. Ahora, las características físicas de este material, con las cuales se efectúa la comprobación mecánica en cuestión, son las presentadas a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 16. Características físicas del ABS

Alargamiento a la Rotura	45
Módulo de Tracción	2,1 GPa
Esfuerzo a la Tracción	41 Mpa
Densidad (g cm-3)	1,05

Una vez definido el material con el cual se constituye el artefacto planteado, se realiza la simulación concerniente a la comprobación del peso de cada alternativa para saber si estas cumplen con el valor aceptable señalado en el requerimiento concerniente al atributo “Liviano” (Tabla 17).

Tabla 17. Comprobación mecánica referente al peso de las alternativas planteadas

Alternativa	Peso referido	Peso aceptable
1	16 gr	50 gr
2	99.2 gr	
3	21 gr	

Por otra parte, se efectúa una comprobación mecánica referente a la resistencia que cada una de las alternativas tiene frente a la aplicación de una fuerza correspondiente a la presa palmar cilíndrica realizada sobre el mango del artefacto para sujetarlo. Para ello, una vez definido el material de este último, se realiza una simulación virtual en el software advertido, en la cual se realiza una prueba de tracción mecánica. Para esto, se establecen las superficies en las que cada una de las propuestas tiene contacto con la mano, y se estipulan como entradas de vectores de una fuerza distribuida correspondiente al valor estipulado sobre el cual, el material debe resistir para no romperse, tal y como se ve en las figuras presentadas a continuación:

Figura 32. Simulación mecánica de la alternativa 1

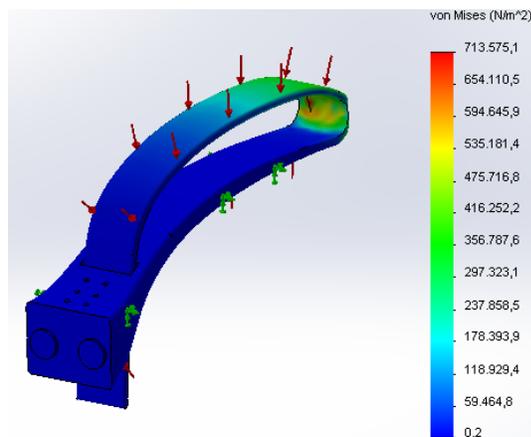


Figura 33. Simulación mecánica de la alternativa 2

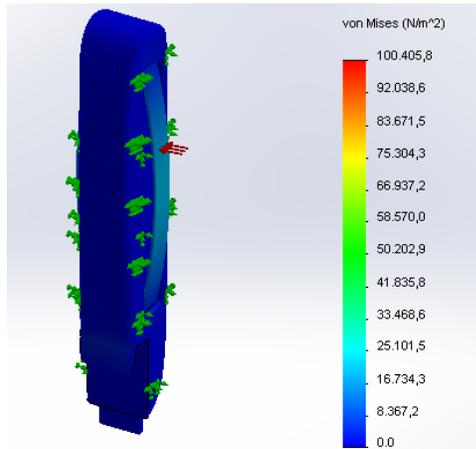
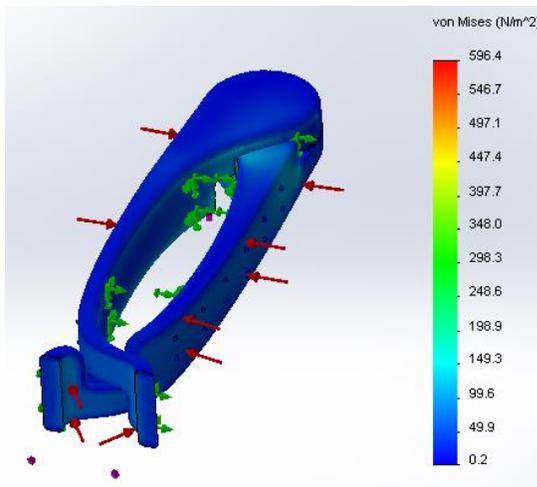


Figura 34. Simulación mecánica de la alternativa 3



Como se puede ver en las figuras presentadas anteriormente, al lado derecho de cada una de las simulaciones se encuentra una barra de color que varía de un color azul, el cual indica los mínimos esfuerzos a la tracción presentados sobre la pieza modelada; hasta el color rojo, que refiere el máximo esfuerzo en esta, expresado en N/m^2 o Pa, el cual debe ser menor que el presentado en la tabla 16 para cumplir con el requerimiento referente al atributo “resistente” (Tabla 18).

Tabla 18. Comprobación mecánica referente a la resistencia del material sobre una carga aplicada

Alternativa	Máximo esfuerzo a la tracción	Esfuerzo límite del material
1	0,7 Mpa	41 Mpa
2	0,1 Mpa	
3	0,0006 Mpa	

Como conclusión a las simulaciones virtuales presentadas anteriormente, se tiene en primera instancia, que el peso de la alternativa 1 y 3 responden favorablemente al parámetro relacionado para este requerimiento, ya que su peso es menor al referido. Por otra parte, se puede observar en la tabla 18, que las alternativas responden acertadamente al parámetro presentado para el atributo “resistente”, ya que sus máximos esfuerzos a la tracción, derivados de la fuerza máxima indicada en el requerimiento correspondiente, son considerablemente menores al esfuerzo máximo que resiste el material ABS. Sin embargo, en las alternativas 1 y 2 los esfuerzos se concentran de manera muy desigual (áreas de la superficie del modelado en color intenso), en secciones del material que tras un prolongado tiempo de uso pueden fatigarse y causar la rotura del mismo.

b. Comprobación de uso

Ahora bien, para evaluar el cumplimiento de los requerimientos relacionados al uso del artefacto, son construidos modelos físicos de las alternativas planteadas que permitan estudiar su cumplimiento mediante una validación realizada con los sujetos de estudio. Para lo anterior se plantea una evaluación en la cual, los 4 niños con PCI espástica sobre los que se realizó la observación y análisis de la actividad alimentaria, realicen, mediante tres modelos funcionales de las alternativas presentadas (Figura 35) y tras una instrucción previa, una simulación de un ciclo de actividad comprendido por las acciones de: agarrar el modelo, simular la dosificación del alimento tras accionar el mecanismo de transmisión de

movimiento planteado, y transportar el artefacto hacia la boca, sin precisar que éste sea insertado en ella, dado que la madera, el material con el cual son contruidos los modelos funcionales, pueden lastimar la boca del niño (Figura 36).

Cabe señalar que, en esta prueba se indagará a los menores sobre el dolor referido tras manipular cada alternativa, razón por la cual, uno de los factores de inclusión señalado de los sujetos de estudio, es su capacidad de inferir un juicio sobre dos conceptos contrarios en una situación particular. Para ello, de manera previa a la validación a continuación descrita, un grupo de profesionales conformados por un fonoaudiólogo y un terapeuta ocupacional de la fundación FANDIC, evalúan las capacidades cognitivas de los menores con PCI espástica sobre los cuales se estudió de la actividad alimentaria, para definir la viabilidad de su participación en el presente estudio con base en el factor de inclusión indicado. Por consiguiente, y tras obtener una valoración favorable, los cuatro niños referidos inicialmente, pueden participar como sujetos de estudio de la validación señalada.

Figura 35. Modelos de comprobación de las alternativas planteadas

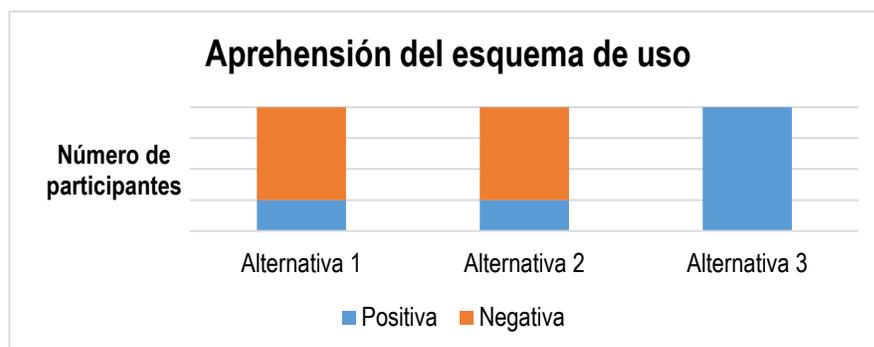


Figura 36. Realización del ciclo de acciones planteado con un modelo propuesto



Ahora bien, durante el desarrollo de la comprobación de uso es observada en primera instancia, la aprehensión, o comprensión inmediata de las instrucciones dadas previamente para dar cumplimiento a al ciclo de acciones propuestas, con el fin de evaluar el requerimiento concerniente a la preparación requerida para manipular el artefacto (Figura 37).

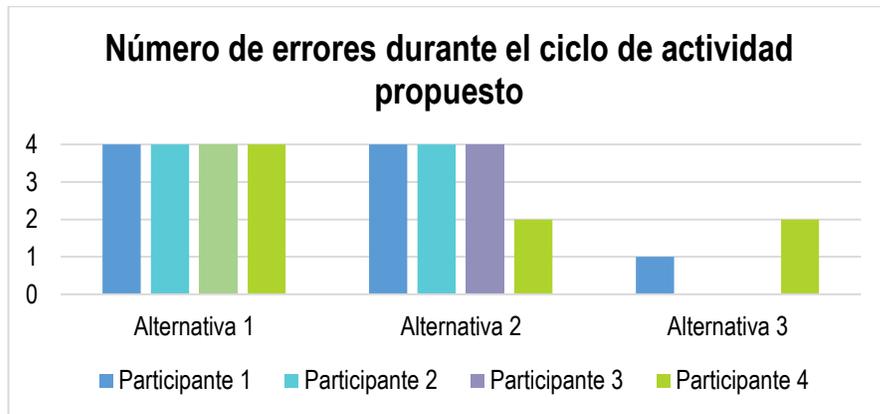
Figura 37. Comprobación de uso referente a la aprehensión del esquema de uso



Como se puede ver en la figura 37, la aprehensión o comprensión inmediata del esquema de uso del artefacto, traducida en la reproducción oportuna de las acciones indicadas tras una instrucción previa, se presenta más favorable en la alternativa 3, ya que a diferencia de las dos restantes, fue sujeta y manipulada tal y como se señaló en un principio por los cuatro participantes. Por su parte, las inconsistencias presentadas en las alternativas 2 y 3 están relacionadas a una sujeción equivocada del modelo y por tanto a la incapacidad de simular la dosificación del alimento. De esta manera, se puede inferir que, tras presentar una aprehensión positiva por los cuatro participantes, la alternativa 3, a diferencia de las dos restantes, da cumplimiento al requerimiento relacionado a la extensa preparación del artefacto.

Por otra parte, durante el desarrollo de la validación, se observa el número de errores presentados durante la realización del ciclo de acciones planteado. Esto se traduce en dificultades e inconsistencias al efectuar el movimiento que permite dosificar el alimento, así como el deslizamiento, volcamiento o caída del modelo durante el cumplimiento de la comprobación (Figura 38). Cabe señalar que, si el niño refiere 4 errores sin lograr comenzar la simulación planteada, se resuelve detener el ejercicio para no crear frustración en el menor durante el cumplimiento de la validación.

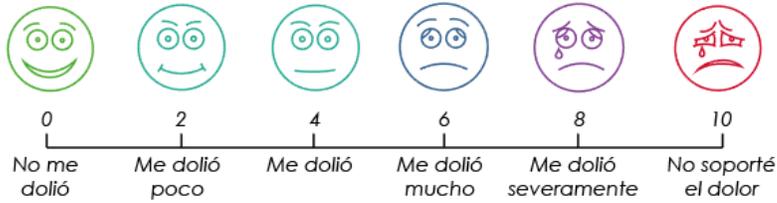
Figura 38. Comprobación de uso referente al número de errores durante el ciclo de actividad



Como se observa en la figura anterior, la alternativa 3 presenta un número menor de errores con respecto a las dos restantes, en las cuales hubo que detener la comprobación de uso para evitar la frustración de los niños participantes en la prueba debido a la imposibilidad de simular el movimiento que permite dosificar el alimento y realizar la movilización articular indicada. Consiguientemente se infiere que, de las tres alternativas, solo la tercera cumple favorablemente con el parámetro correspondiente al requerimiento de dosificación y transporte seguro del alimento.

Finalmente, se realiza una retroalimentación con los niños participantes en la evaluación de uso, de tal manera que, mediante una escala visual análoga, se refiere la ausencia o presencia de dolor durante la manipulación de cada uno de los modelos. Cabe aclarar que esta escala, se modifica para que los niños hacia los cuales va dirigida, tengan mayor entendimiento de ella. De esta forma, la ausencia y presencia de dolor es representada por una figura de un rostro feliz y triste, así como por los colores rojo y verde respectivamente (Figura 39).

Figura 39. Escala visual análoga para referir el dolor presentado durante el ciclo de actividad.



Como resultado de la retroalimentación indicada, tal y como se presenta en la figura 40, se observa que, a diferencia de las alternativas 1 y 2, no se refirió dolor alguno por ninguno de los participantes tras manipular la alternativa 3, lo cual sugiere seguridad en su uso. De esta manera y a diferencia de las otras dos propuestas, esta alternativa da cumplimiento efectivo al requerimiento referente a la ausencia de dolor alguno en el artefacto tras su manipulación con el fin de no afectar la integridad física del menor con PCI espástica.

Figura 40. Dolor referido tras la manipulación de las alternativas planteadas.



Consecuente con la evaluación de uso efectuada, se puede concluir que la tercera alternativa se muestra más conveniente frente a las restantes, para ser empleada en la asistencia de la actividad alimentaria de un menor con PCI espástica, tras exponer un mejor lenguaje de uso, no señalar dolor alguno en ninguno de los niños que participó en la validación, y por ende presentar mayor grado de cumplimiento en los requerimientos señalados.

Cabe aclarar que los requerimientos restantes, tales como la forma anatómica, el evitar que el artefacto lastime el rostro del niño al momento de insertar el alimento en la boca, la poca precisión del agarre y la posible manipulación con cualquier mano; son controlados en cada una de las alternativas al dimensionar el mango del artefacto con relación a la población de estudio, proponer las palas que llevan la comida a la boca en silicona, determinar una presa palmar cilíndrica para el agarre y plantear el artefacto de forma simétrica.

c. Matriz de evaluación

Tabla 19. Evaluación de alternativas con base en los requerimientos planteados

Requerimiento	Peso	Cumplimiento		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
El artefacto debe ser liviano	11,7 %	+	-	+
El artefacto debe resistir la fuerza prensil de un sujeto de 18 años	11,7 %	+	+	+
La forma del artefacto debe acoplarse a las dimensiones de la mano de un niño entre los 10 y 18 años	11,7 %	+	+	+
La forma del artefacto debe evitar lastimar el rostro del niño al insertar el alimento en la boca	11,7 %	+	+	+
El agarre y la movilización articular trazada por el	11,7 %	-	-	+

Requerimiento	Peso	Cumplimiento		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
artefacto debe evitar dolor alguno en la mano				
El artefacto debe dosificar y transportar una porción de comida sin que esta caiga	11,7 %	-	-	-
El uso del artefacto debe prescindir de extensa preparación	8.8 %	-	-	+
El agarre del artefacto debe realizarse con una presa de poca precisión	8.8 %	+	+	+
El artefacto debe ser manipulable tanto con la mano izquierda como con la derecha	5.9 %	+	+	+
La superficie o textura del artefacto debe facilitar su agarre	5.9 %	+	+	+
<i>Total</i>	100%	67.5 %	55.7 %	88.3 %

4.3 DISEÑO DE DETALLE

Una vez seleccionada la tercera alternativa, como la propuesta con mayor grado de cumplimiento sobre los requerimientos planteados, se realizan una serie de modificaciones y especificaciones en ésta, con el fin de solventar inconsistencias observadas durante el transcurso de las comprobaciones realizadas.

De esta manera, inicialmente, se aumenta la elevación del mango con respecto las piezas que sujetan la comida para evitar el contacto de la mano con el alimento al momento de su dosificación, ya que, al estar sobre el mismo plano horizontal, tanto los dedos de la mano como la pala del artefacto tocarían la comida (Figura 41). Por otra parte, se suprime parte de la superficie del par de palas que dosifican el alimento, para que una vez tomado, se facilite su retiro tras insertarlo en la boca. Esto se realiza sin olvidar que la superficie de este par de elementos debe presentar una altura considerablemente mayor respecto a la cuchara tradicional

con la que se efectúa la actividad alimentaria para evitar la caída del alimento durante su transporte a la boca (Figura 42).

Figura 41. Modificaciones en la elevación del mango del artefacto

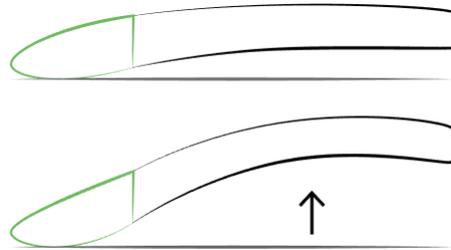
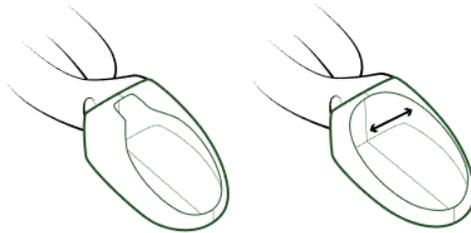


Figura 42. Modificaciones en la superficie de las palas que dosifican el alimento



Por otra parte, se define el resorte que, al igual que en los modelos construidos para efectuar la comprobación de uso de las tres alternativas, permita efectuar el cierre de las piezas que dosifican el alimento una vez realizada esta acción. Para ello, y dada la dimensión y configuración formal del artefacto, se plantea un resorte de torsión oculto entre los dos elementos del mango propuesto, el cual se propone en acero inoxidable, dado que el artefacto se encuentra constantemente en contacto con el agua debido que debe ser lavable (tabla 20).

Tabla 20. Caracterización del resorte de torsión empleado

Material	Acero inoxidable AISI 302
Diámetro del alambre	1 mm
Diámetro interno del resorte	4 mm
Número de vueltas	3

Ahora bien, dada la variabilidad intra e inter personal de la fuerza empleada por un niño espástico para ejecutar un movimiento, y con base en los mecanismos de rehabilitación estudiados previo a la configuración del artefacto, los cuales presentan distintos niveles de resistencia a la fuerza empleada para la realización de un movimiento terapéutico. Se planteó que el resorte en cuestión pueda ser retirado y reemplazado por otro que presente mayor o menor resistencia al movimiento según el nivel de afectación espástica que refiera un menor con PCI. De igual manera se propone una cavidad dentro del artefacto, junto a la ubicación del elemento advertido, cuya función sea contener otro resorte con una distinta resistencia al movimiento. Por otro lado, se propone la forma en la cual se ensamblan las dos piezas que conforman el mango del elemento, y a su vez, la manera en la que, estas últimas, se articulan a las palas propuestas en silicona. Para ello, inicialmente, se propone un pasador que se configura como el eje de movimiento del mango. A su vez, este elemento posee dos caras cóncavas en sus extremos para que una vez girado, las piezas del mango queden sujetas, tal y como se presenta en la siguiente figura:

Figura 43. Elemento de sujeción de las piezas del mango



Con base en las especificaciones referidas, se presenta la siguiente propuesta del artefacto para asistir la actividad alimentaria de la población con PCI espástica, junto a sus dimensiones (Figura 45) y secuencia de uso (Figura 46).

Figura 44. Descripción gráfica del artefacto propuesto



Figura 45. Dimensiones generales del artefacto propuesto

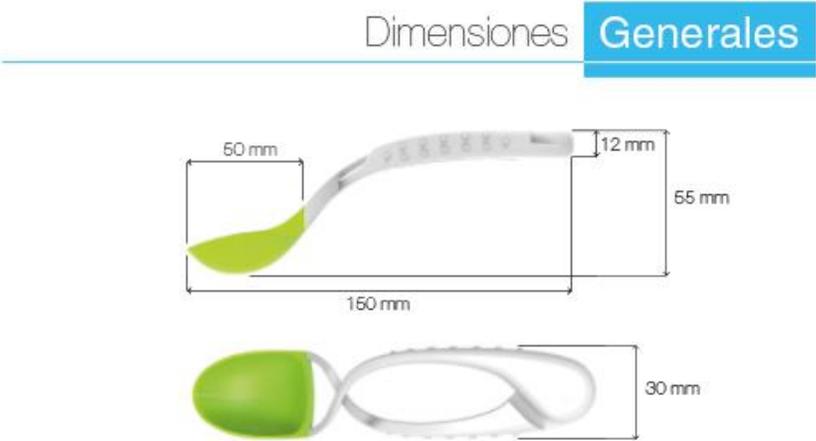
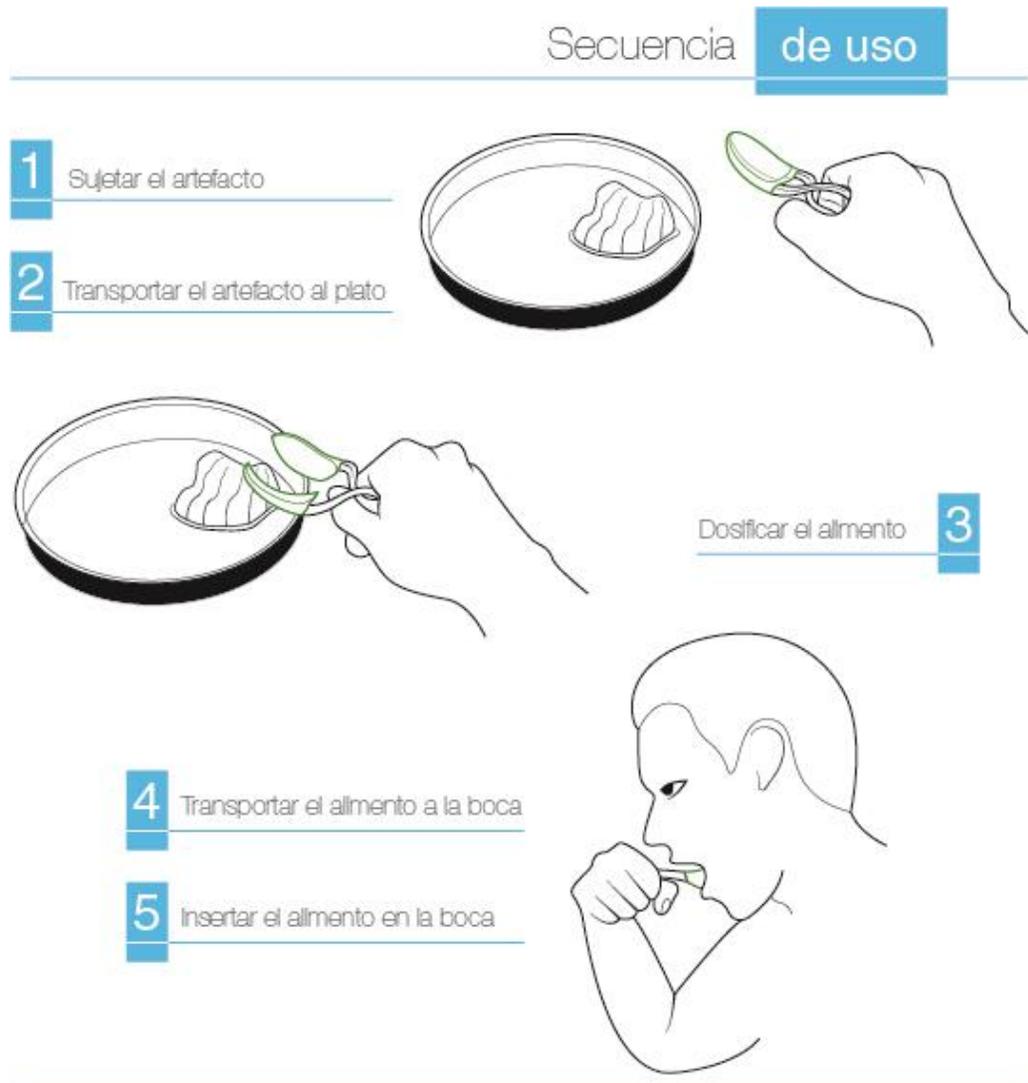


Figura 46. Descripción de la secuencia de uso del artefacto



Por otro lado, se define el ensamble de las dos piezas que conforman el mango, propuestas en un material sólido (ABS), con las dos palas, propuestas en un elastómero (Silicona), encargadas de dosificar y sustentar el alimento mientras este es llevado a la boca.

En primera instancia, cabe aclarar que este último material es utilizado para la producción de diversos utensilios de cocina, tales como cucharas y otros elementos que asisten la actividad alimentaria de la población en general. Sin embargo, dado que en el contexto local no se comercializa el tipo de silicona con el cual se fabrican los productos indicados anteriormente, se propone realizar dichas palas en un material similar, el cual guarde las propiedades elásticas del último, y evite contaminar el alimento o sugiera algún riesgo de intoxicación en el menor tras introducirse en su cavidad bucal. En consecuencia, se propone realizar estas piezas en la silicona *Panasil Initial Contact light*, la cual es un elastómero liviano utilizado comúnmente para la elaboración de moldes odontológicos de alta precisión y cuyo acceso no presenta dificultad alguna en el contexto local. A su vez, ninguno de sus componentes refiere algún riesgo de toxicidad tras insertarse en la cavidad bucal, dado el uso principal para el cual es destinado.

Ahora bien, dado que las palas a elaborar se encuentran ensambladas de manera fija a las piezas que conforman el mango, se plantea que estas últimas presenten un alargamiento en su parte más distal que permita recubrirse en silicona y obtener la forma deseada (Figura 47). Por otra parte, cabe aclarar que, el modo de empleo de este material es realizado mediante la inyección del mismo sobre un molde. Así pues, se realizan una serie de moldes de las palas en cuestión, en el software Rhinoceros, el cual permite realizar el vaciado de una pieza sólida sobre un cubo, obteniendo como resultado el negativo de esta última (Figura 48). Finalmente, al igual que las piezas del mango, los moldes presentados a continuación, se plantean para ser modelados mediante la tecnología de impresión 3D, dada la precisión requerida para la elaboración de éstos en las dimensiones requeridas por las palas del artefacto.

Figura 47. Planteamiento final de las piezas del mango del artefacto



Figura 48. Moldes generados para realizar las palas del artefacto



Finalmente, tras definir las piezas del artefacto y sus elementos de unión, se construye alrededor de éste, una serie de elementos de identidad tales como nombre (Figura 49), símbolo y empaque (Figura 50), para reforzar su comunicación con el público hacia el cual está dirigido.

Figura 49. Nombre y esquema de color de la solución propuesta

Identidad

come Naming

Come se deriva del modo imperativo del verbo comer e invita a la realización de la actividad alimentaria. A su vez la tipografía en la que se configura el nombre propuesto para el artefacto es la Helvetica ultra light.

come Color

Dado que la solución propuesta esta dirigida a población infantil, se propone presentar sus palas en matices de color con un alto grado de saturación para hacer del artefacto un objeto atrayente. De igual forma, para brindar una composición armonica con el alimento, y dado que los tonos de color de este último pueden variar considerablemente, se formula que las piezas indicadas se presenten en matices con un alto valor de luminosidad. Con base en lo anterior, se toma como referencia la paleta de color "Healthy Feeding" situada en la plataforma virtual de de gestión del color Kuler de Adobe Systems.

	<table><tr><td>R 103</td><td>C 0</td></tr><tr><td>G 193</td><td>M 64</td></tr><tr><td>B 196</td><td>Y 60</td></tr><tr><td>Hxd 67C2C4</td><td>K 0</td></tr></table>	R 103	C 0	G 193	M 64	B 196	Y 60	Hxd 67C2C4	K 0	<table><tr><td>R 187</td><td>C 35</td></tr><tr><td>G 209</td><td>M 0</td></tr><tr><td>B 69</td><td>Y 84</td></tr><tr><td>Hxd BBD145</td><td>K 0</td></tr></table> 	R 187	C 35	G 209	M 0	B 69	Y 84	Hxd BBD145	K 0
R 103	C 0																	
G 193	M 64																	
B 196	Y 60																	
Hxd 67C2C4	K 0																	
R 187	C 35																	
G 209	M 0																	
B 69	Y 84																	
Hxd BBD145	K 0																	
	<table><tr><td>R 254</td><td>C 4</td></tr><tr><td>G 238</td><td>M 0</td></tr><tr><td>B 95</td><td>Y 72</td></tr><tr><td>Hxd FEEE5F</td><td>K 0</td></tr></table>	R 254	C 4	G 238	M 0	B 95	Y 72	Hxd FEEE5F	K 0	<table><tr><td>R 239</td><td>C 0</td></tr><tr><td>G 122</td><td>M 64</td></tr><tr><td>B 95</td><td>Y 60</td></tr><tr><td>Hxd EF7A5F</td><td>K 0</td></tr></table> 	R 239	C 0	G 122	M 64	B 95	Y 60	Hxd EF7A5F	K 0
R 254	C 4																	
G 238	M 0																	
B 95	Y 72																	
Hxd FEEE5F	K 0																	
R 239	C 0																	
G 122	M 64																	
B 95	Y 60																	
Hxd EF7A5F	K 0																	

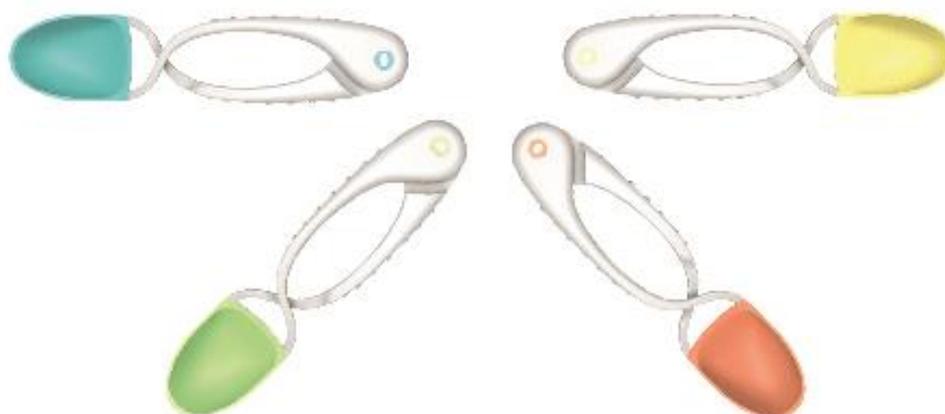


Figura 50. Imagotipo y empaque de la solución propuesta

come imagotipo

El imagotipo presentado a continuación proviene de, la abstracción de las dos piezas principales del mango, cuyo movimiento permite la movilización articular inherente al uso del artefacto; y la disposición bajo este elemento gráfico del nombre propuesto, tal como se ve a continuación.

Versión preferente



Versiones alternas



come empaque

El empaque presentado permite encajarse de manera sencilla al artefacto, dejando a la vista sus elementos para que las personas puedan ver y palpar sus atributos. De igual forma, este empaque facilita su disposición en los mobiliarios de exhibición tipo flauta, encontrados en un sin número de tiendas de implementos para la comida y la cocina.

4.4 CONSTRUCCIÓN DEL ARTEFACTO

Tras definir en su totalidad las partes que conforman la solución propuesta, éstas se construyen tal y como se planteó anteriormente. Para esto, en primera instancia se realiza la impresión 3D de las piezas propuestas en ABS y los moldes que permiten la construcción de las palas en silicona.

Esta impresión es realizada en las instalaciones de Tecnoparque – Nodo Bucaramanga, el cual es un programa de innovación tecnológica del Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, que presta sus servicios a la comunidad local mediante asesoría y equipos especializados en diversas áreas del conocimiento. De esta manera, y bajo la supervisión de un gestor del área de diseño e ingeniería se procede a realizar el modelado de las piezas indicadas. Ahora bien, este procedimiento es efectuado, en primera instancia, tras modelar virtualmente las piezas señaladas en los programas CAD advertidos y consiguientemente expórtalas en formato *.stl* (estereolitografía). Esta extensión permite abrir las partes a imprimir en el software CatalystEX, el cual sirve como interface de la impresora a utilizar, para definir el tipo de modelado a generar, ya que esta puede generar una pieza totalmente sólida o hueca en su interior. Una vez definido el carácter sólido de las piezas a imprimir, con base en las especificaciones propuestas, se realiza su modelado en la impresora *Dimension elite 3D printer machine* (Figura 49). Este proceso se da mediante la aplicación de calor a un filamento del plástico indicado, lo cual hace que éste pase a un estado semilíquido y se extruya en pequeñas capas que, para el equipo señalado, son de 0.254 mm de espesor.

Figura 51. Impresora 3D Dimension elite



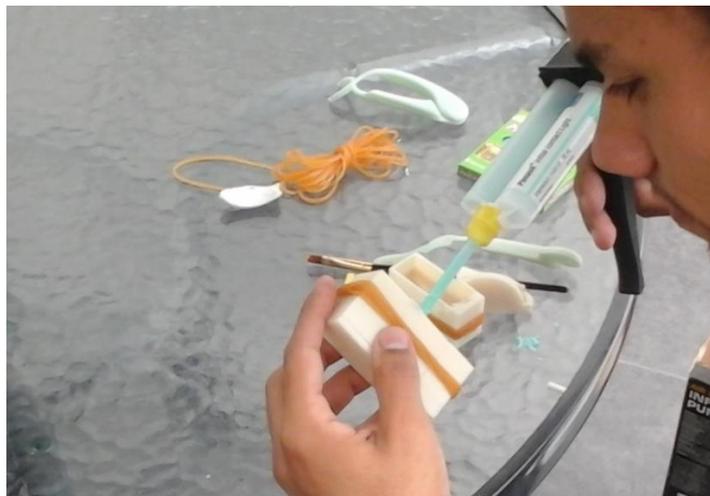
Fuente: Your Partner in Manufacturing Excellence: <http://www.loriktool.com/>

Una vez modeladas las piezas, como se puede apreciar en la Figura 52, son retiradas de la bandeja de impresión para dar continuidad a la construcción del artefacto. Para ello las dos partes concernientes al mango del artefacto son dispuestas en los moldes propuestos para que dichas piezas queden recubiertas en silicona en su parte más distal, una vez aplicado este material. Ahora, este último procedimiento es realizado mediante la inyección asistida por una pistola especialmente destinada para este proceso (Figura 53). Para esto, los moldes cuentan con un orificio para verter la silicona.

Figura 52. Resultado de la impresión 3D de las piezas y moldes de artefacto



Figura 53. Inyección de la silicona en los moldes propuestos



Ahora, tras aplicar el material indicado, se espera a que éste realice el proceso de curado, el cual requiere un tiempo de 90 segundos en la temperatura ambiente de la ciudad de Bucaramanga (23°C) a las ocho horas de la mañana (Figura 54). Una vez hecho lo anterior, se procede a retirar el molde superior de la pala propuesta, para posteriormente retirar esta pieza ya unida con la estructura del mango del

artefacto (Figura 55). Por último, se retira la rebaba dejada por el material en cuestión para posteriormente ensamblar las partes con los elementos señalados previamente, con el fin de obtener el modelo funcional propuesto (Figura 56).

Figura 54. Molde de la pala unido al mango del artefacto



Figura 55. Pala en silicona unida al mango del artefacto



Figura 56. Modelo funcional del artefacto propuesto

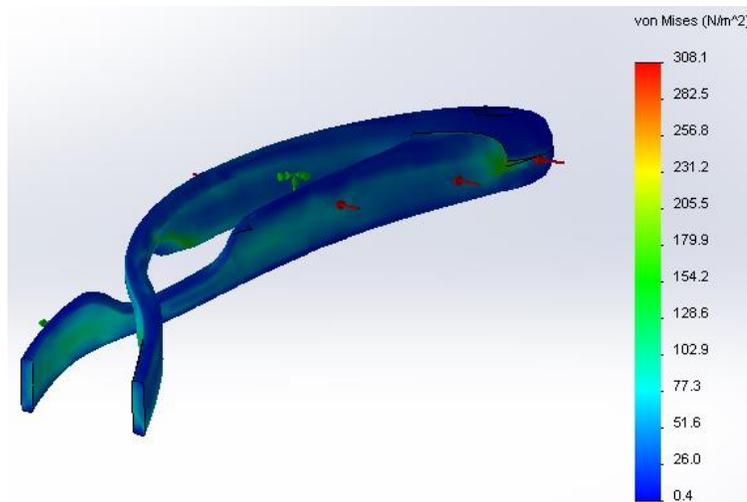


5. EVALUACIÓN DEL ARTEFACTO

5.1 COMPROBACIÓN MECÁNICA VIRTUAL

Tras realizar el modelo funcional de artefacto, inicialmente se realiza, tal como en las alternativas propuestas en un principio, una simulación virtual para observar su comportamiento mecánico frente a la fuerza ejercida por el niño tras efectuar el agarre del mango (Figura 57). Cabe aclarar que, aunque la solución propuesta es una derivación de una alternativa sobre la cual ya se efectuó tal comprobación, esta presenta algunas modificaciones en su forma y geometría que podrían modificar los resultados de dicha simulación. Por tal razón, esta comprobación es efectuada nuevamente bajo el mismo procedimiento y parámetros indicados con anterioridad en numeral correspondiente a la evaluación de alternativas.

Figura 57. Comprobación mecánica del artefacto propuesto.



Como se puede observar en la figura anterior, el máximo esfuerzo a la tracción presentado por el artefacto tras recibir una fuerza correspondiente al agarre del mismo, es de 308 Pascales (N/m^2), el cual se encuentra muy por debajo del valor límite del material previo a su rotura (41 Mpa). Por otro lado, las áreas que presentan mayor concentración de esfuerzos son aquellas en donde hay variación en la geometría del modelo; sin embargo, estos últimos no representan un riesgo considerable que pueda romper el artefacto.

A su vez, se observa, como parte de la simulación virtual efectuada, el peso referido por la solución propuesta, cuyo registro es de 20 gramos, valor considerablemente aceptable para ser considerado liviano, dado que el parámetro correspondiente refiere un peso menor a 70 gramos. Conforme a estos valores, se puede inferir que, las propiedades mecánicas del artefacto propuesto responden aceptablemente a los requerimientos planteados para que uso sea conveniente durante la actividad alimentaria de niños con PCI espástica.

5.2 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN

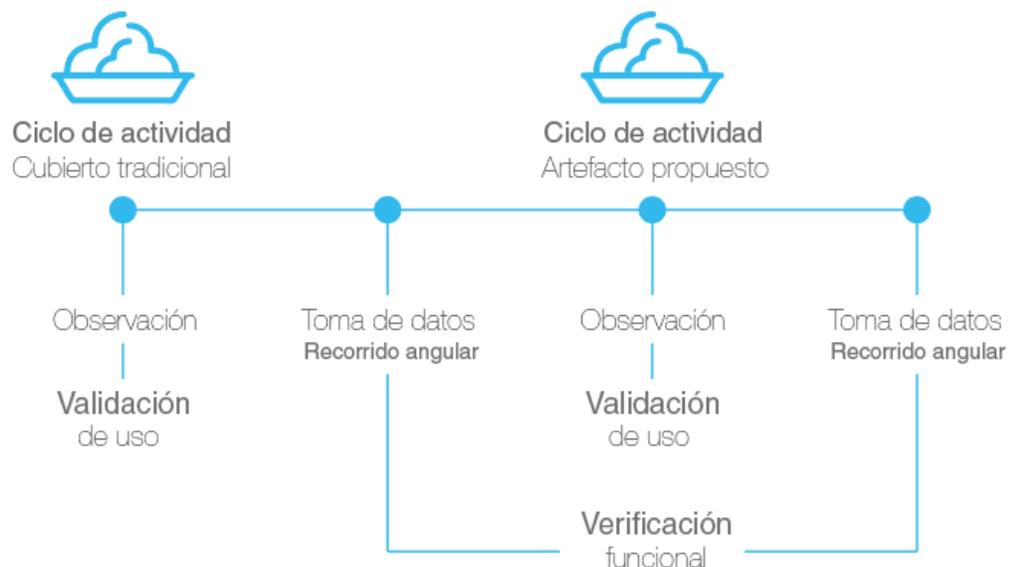
Definición de la evaluación

Con el fin de comprobar el cumplimiento de los requerimientos del artefacto, se evaluó, tanto la pertinencia del mismo como mecanismo de rehabilitación de las funciones musculo esqueléticas relacionadas con el movimiento de la mano, afectado por el patrón espástico de dedos en garra; como su capacidad para asistir favorablemente esta actividad alimentaria en la población con PCI espástica.

Para realizar esta evaluación se contó con la presencia de los cuatro niños con los cuales se efectuó una primera verificación de uso sobre las alternativas presentadas con anterioridad, ya que su estado físico y cognitivo permitieron su participación como sujetos de estudio. Por otro lado, esta valoración se efectuó en el espacio habitual donde se realiza esta actividad; en otras palabras, en el mobiliario usado por cada participante para alimentarse en sus respectivos hogares, tal y como se observó en el análisis inicial de esta actividad.

Ahora bien, el cumplimiento de la evaluación del artefacto es llevado a cabo mediante el protocolo presentado a continuación (Figura 58), el cual permite realizar la validación y verificación de la solución propuesta durante la realización de un mismo ciclo de actividad alimentario.

Figura 58. Protocolo general de evaluación del artefacto



Cabe aclarar que, como ya se indicó, el ciclo de actividad alimentario está dado tras realizar las acciones de, dosificar el alimento, transportarlo e introducirlo en la boca; las cuales son repetidas un número determinado de veces en función del tamaño del alimento a ingerir. Por otro lado, las variables y mecanismos de evaluación, así como los resultados de las comprobaciones realizadas, son presentados a continuación.

Verificación funcional del artefacto

Para comprobar la capacidad de la solución propuesta para mitigar un patrón espástico en la mano, específicamente el de dedos en garra, durante su uso en la actividad cotidiana de la alimentación, se empleó la escala de *Tardieu*, la cual, permite valorar la espasticidad por medio del cambio del ángulo de reacción muscular tras la consecución de un ciclo terapéutico de corta duración.

Esta evaluación, en el caso del patrón espástico de dedos en garra, es medida por el recorrido angular de la falange proximal del dedo índice de la mano que describe la movilización articular derivada del agarre y uso del artefacto propuesto. Para ello, se toma como eje de rotación la articulación que une a la falange proximal indicada con el metacarpo de la mano (Figura 59). Este registro es realizado mediante un goniómetro, el cual es un instrumento de medición de ángulos sexagesimales que permite realizar esta valoración de manera rápida y sencilla (Figura 60).

Figura 59. Descripción del recorrido angular medido.

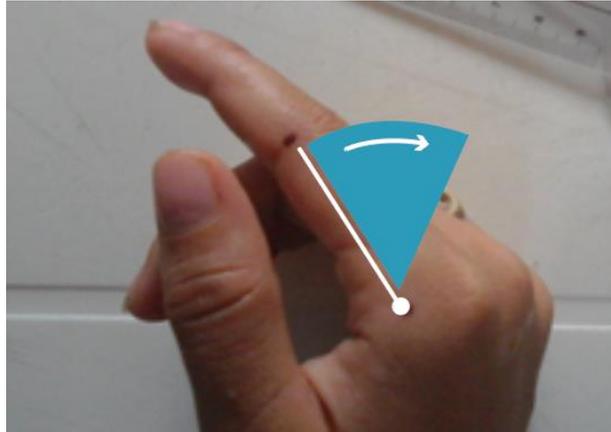
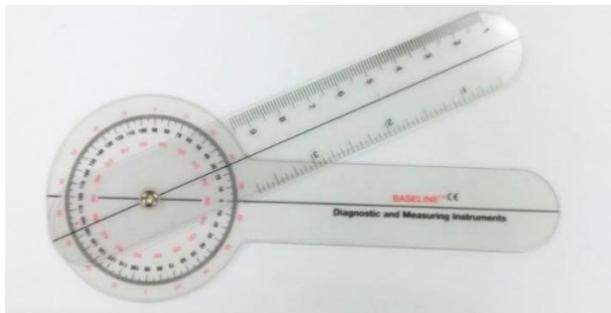


Figura 60. Goniómetro empleado para la verificación funcional del artefacto

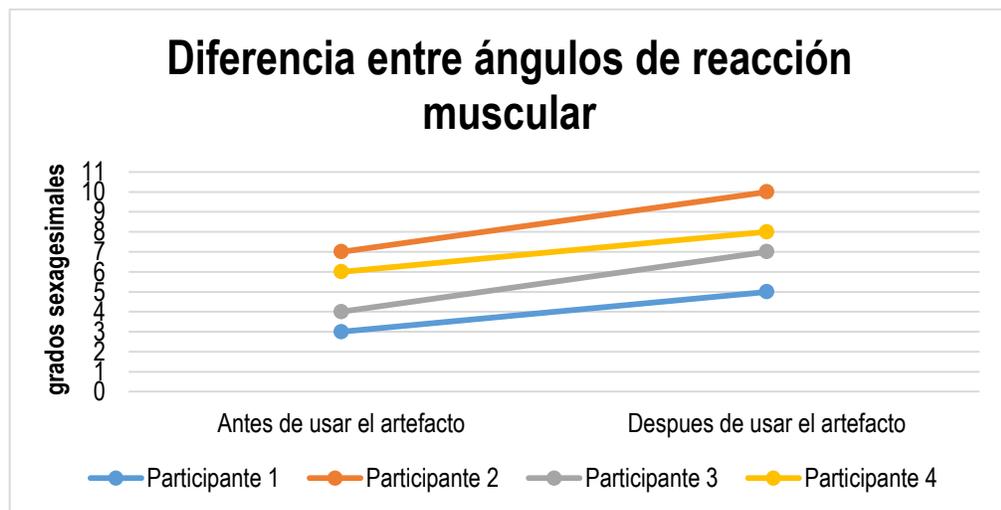


A su vez, cabe aclarar que, en la escala de *Tardieu*, el ángulo de reacción muscular es valorado tras realizar la diferencia entre un recorrido angular lento y otro rápido, de la misma estructura corporal. Ahora, dado que el registro de esta variable, es tomado antes y después del cumplimiento de la actividad alimentaria asistida con el artefacto propuesto (tabla 21), la mitigación del patrón espástico en cuestión, es medida por la variación entre las dos diferencias concernientes al ángulo de reacción muscular antes y después de que el niño se alimente con la solución propuesta (Figura 62).

Tabla 21. Registro del recorrido angular descrito por la estructura corporal estudiada

 <p>Figura 61.</p>	Antes de la actividad asistida con el artefacto propuesto		Después de la actividad asistida con el artefacto propuesto	
	∓ Lento	∓ Rapido	∓ Lento	∓ Rapido
	Participante 1	23°	20°	20°
Participante 2	55°	48°	61°	51°
Participante 3	47°	43°	53°	44°
Participante 4	45°	39°	47°	39°

Figura 61. Diferencia de ángulos de reacción muscular antes y después de la actividad alimentaria



Tras realizar la medición señalada en los cuatro participantes, se observa que, una vez realizado el ciclo de actividad indicado, con la asistencia del artefacto propuesto, hay una variación general de los ángulos de reacción muscular en la movilización articular efectuada. Ahora bien, dado que esta diferencia tiende a aumentar su amplitud, se puede inferir que la realización de la movilización estudiada, inherente al uso de la solución planteada, promueve la estimulación funcional de las propiedades físicas de los músculos de la mano afectados por el patrón espástico de dedos en garra.

Validación de uso del artefacto

Con el fin de comprobar la capacidad de la solución propuesta para asistir favorablemente la actividad alimentaria de la población con PCI estudiada, se realizó una validación de uso del artefacto con base en los requerimientos relacionados a su uso. Ahora bien, ya que estos últimos plantean que el cumplimiento de esta actividad debe realizarse evitando dificultades concernientes a la dosificación desafortunada del alimento y caída constante del mismo durante su transporte a la boca, se plantea que la presente comprobación sea realizada por medio del recuento de errores al llevar a cabo las anteriores acciones.

Por otra parte, y dado que las dificultades en mención se derivan de la observación de la alimentación con la asistencia del cubierto tradicional (cuchara); se propuso comparar el desarrollo de la actividad alimentaria asistida tanto con la cuchara corriente, como con el artefacto desarrollado, a través de los resultados referentes al recuento de errores de cada uno, para establecer la favorabilidad de los dos. Con base en esto se determinó que la cantidad de alimento a consumir fuera 50 gramos de porción de arroz blanco, comestible que hace parte sustancial de la dieta poblacional colombiana. A su vez, y con el fin de observar el performance de la solución planteada frente al cubierto tradicional, se formula tomar el tiempo que conlleva dar cumplimiento al ciclo de actividad propuesto.

A continuación, se observa el resultado de la evaluación de la actividad alimentaria de un participante, tanto con el cubierto tradicional (Figura 63), como con la solución planteada (Figura 64). De manera notable se pudo observar la diferencia en la presión de los dos instrumentos que asisten la alimentación del menor. Por una parte, la cuchara es sujeta mediante una prensa digital y, por otro lado, el artefacto propuesto es agarrado a través de una presa palmar.

Figura 62. Cumplimiento del ciclo de actividad alimentario asistido por el cubierto tradicional



Figura 63. Cumplimiento del ciclo de actividad alimentario asistido por el artefacto propuesto



Tras llevar a cabo la evaluación de uso, por medio del registro del tiempo y la observación de errores en las acciones de dosificación y transporte de la comida hacia la boca del menor, lo cual se traduce respectivamente en la dificultad para tomar el alimento del plato y la caída de granos; se obtienen los siguientes resultados que se registraron en la figura 65:

Figura 64. Errores registrados durante el uso de la cuchara y el artefacto propuesto

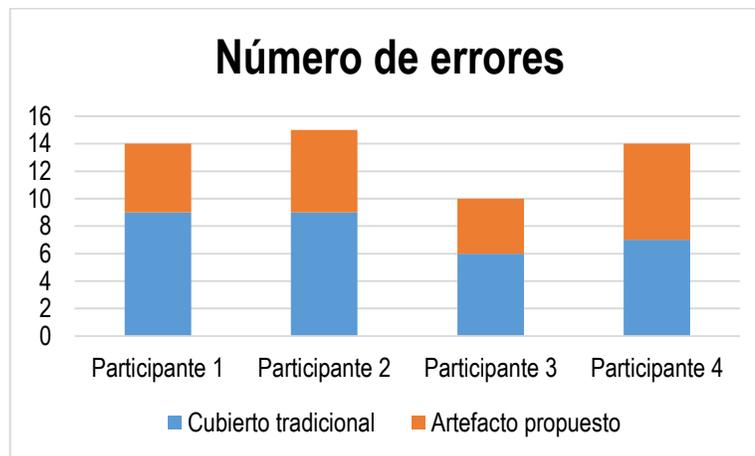


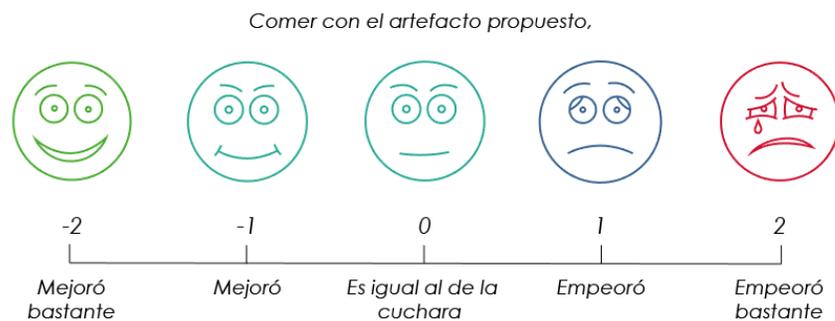
Tabla 22. Tiempo empleado por el artefacto propuesto y la cuchara tradicional para cumplir el ciclo de actividad alimentario

	Tiempo empleado	
	Cubierto tradicional	Artefacto propuesto
Participante 1	3:09 Min	5:15 Min
Participante 2	2:46 Min	5:10 Min
Participante 3	3:27 Min	5:25 Min
Participante 4	3:15 Min	5:00 Min

Como se puede observar en la figura 63 y la tabla 22, aunque los niños estudiados toman significativamente más tiempo para cumplir con el ciclo de actividad alimentaria con el uso del artefacto propuesto, esto debido en gran parte a la experiencia previa manipulando la cuchara; el número de errores relacionados con las acciones valoradas tiende a disminuir de manera considerable, lo cual constituye un punto favorable sobre el uso del artefacto al compararse con el cubierto tradicional.

Por último, con el fin de saber si hubo un cambio en la percepción del niño sobre el desarrollo de su actividad alimentaria al emplear el artefacto propuesto, en contraste con la cuchara corriente; se presentó ante los cuatro participantes, una escala de valoración subjetiva ordinal que varía entre -2 y 4, en donde 0 representa una percepción indiferente sobre el favorecimiento de la actividad alimentaria asistida por la solución planteada en relación al cubierto tradicional (Figura 66).

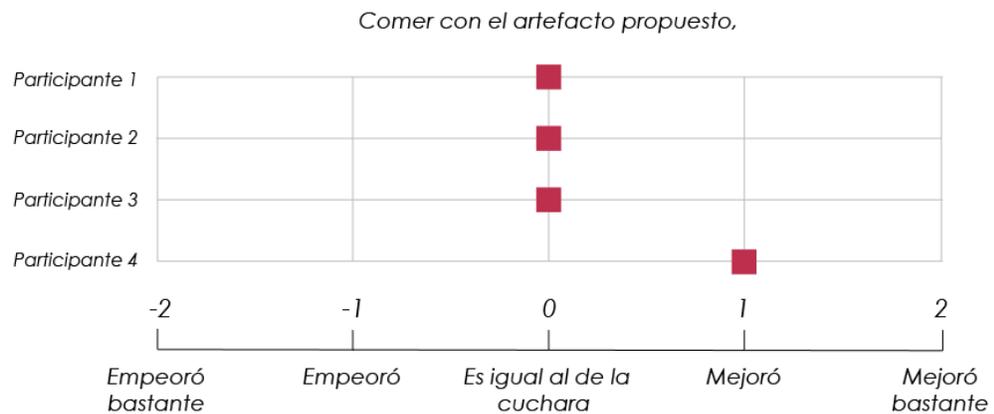
Figura 65. Escala de valoración subjetiva del uso del artefacto propuesto



Una vez realizada la anterior valoración con los cuatro niños participantes, se observa una tendencia a percibir el uso del artefacto con la misma dificultad presentada por el cubierto tradicional (Figura 67). Con base en esto, se puede concluir que, aunque no hay una tendencia de mejoría referida por los niños

estudiados sobre la actividad alimentaria tras usar el artefacto por primera vez, su capacidad como mecanismo de rehabilitación funcional de la mano y su favorabilidad para disminuir dificultades presentadas en el cumplimiento de la actividad, se presentan como atributos que puedan mejorar la percepción del uso de la solución propuesta.

Figura 66. Retroalimentación dada por los participantes sobre el uso del artefacto



Conclusiones

El estudio de la discapacidad funcional de la extremidad superior, adquirida por la parálisis cerebral infantil espástica, en un ambiente donde la población con esta patología desarrolla habitualmente sus actividades de la vida diaria, permitió observar que se pueden aprovechar las capacidades físicas de un niño con este trastorno, durante el cumplimiento de una actividad cotidiana tal como la alimentación, para reducir de manera progresiva su discapacidad, en la medida que la participación autónoma en dicha actividad requiera la aplicación y desarrollo de sus capacidades motoras.

A su vez, la concepción de un mecanismo de rehabilitación que contemple dar acceso a la recuperación funcional de un niño con PCI espástica mientras se facilita su participación en el desarrollo de una actividad cotidiana tal como la alimentación, constituye un método inclusión más humano en la medida que la mejoría de su estado físico se da tras incentivar y mejorar su interacción con el entorno tangible de manera autónoma.

Por otro lado, la retroalimentación suministrada, tanto por los terapeutas de los niños con PCI espástica, como por los padres y cuidadores de esta población, acerca de las necesidades y consideraciones para articular una técnica de rehabilitación física a la asistencia de la actividad cotidiana de la alimentación y facilitar el desarrollo de la misma, fueron fundamentales para configurar de manera adecuada los atributos del artefacto propuesto.

En cuanto al desarrollo del proceso creativo, la articulación previa de una técnica de rehabilitación física y la definición de una presa palmar para facilitar el control de la mano sobre el artefacto, permitieron guiar el desarrollo formal de las alternativas propuestas, así como el planteamiento de sus mecanismos de transformación de movimiento.

Por su parte, aunque el tiempo que conlleva efectuar la actividad alimentaria con el artefacto propuesto es claramente mayor que el presentado por un cubierto tradicional, su validez para propiciar la reducción del patrón espástico de dedos en garra en la mano y su pertinencia para evitar dificultades en las acciones de dosificación del alimento y transporte del mismo a la boca, lo constituyen como un mecanismo de rehabilitación conveniente para asistir la actividad alimentaria de la población con PCI espástica. Entretanto, la constante práctica y la confianza dada por la disminución de errores durante el cumplimiento de la actividad indicada, se vislumbran como factores que pueden mejorar el performance del artefacto durante su uso.

Finalmente, cabe aclarar que, aunque el presente estudio es realizado con una muestra no probabilística de la población con PCI espástica, los resultados de éste pueden tomarse como referencia para estudios futuros que permitan abordar con mayor precisión el mejoramiento de aspectos de la actividad alimentaria de esta población.

BIBLIOGRAFÍA

Agudelo, L., & Seijas, V. La discapacidad en Colombia:. *Revista Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación*, 22(2), 164-179. 2012

Arias, L. A. Biomecanica y patrones funcionales de la mano. *Morfologia*, 41(1), 14-24. 2012

Ávila, R., Prado, L., & González, E. *Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana*. Guadalajara. 2007

Bolaños, J., & et al. Recomendaciones de Manejo Integral de la Espasticidad. *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación*, 106-144. 2011

Calderón, R., & Calderón, R. Tratamiento de la espasticidad en parálisis cerebral con toxina botulínica. *Neurol*, 34(1), 52-9. 2002

Cardenas, M. C. Metodología de diseño en productos médicos. Buenos Aires, Argentina. 24 de Febrero de 2014. Recuperado el 1 de Noviembre de 2015, Disponible en: http://www.palermo.edu/dyc/maestria_diseno/pdf/tesis.completas/cardenas118.pdf

CBM. Ayudando a niños y niñas con Parálisis Cerebral. 2012. Recuperado el 10 de Septiembre de 2015, Disponible en: http://www.cbm.org/article/downloads/54741/2._CP_Manual_SPANISH_CBM_Help_Chn_CP__May_2014_.pdf

DANE. Registro para la Localización y Caracterización de las Personas con Discapacidad. 2012. Recuperado el 6 de Agosto de 2015, Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/Presentacion%20ORLCPD-%20Junio%202012.pdf>

De souza, L., Hwer, R., & Miller, S. Assessment of recovery of arm control in hemiplegic stroke patients. 1. Arm function tests. *International rehabilitation medicine*, 2(1), 3-9. 1980

Devesa, I., & et al. Rehabilitación del paciente con enfermedad vascular cerebral (EVC). *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación*, 26(3-4), 94-108. 2014

García, E. Fisioterapia de la espasticidad: técnicas y metodos. *Fisioterapia*, 26(1), 25-35. 2004

Holden, K., & Lidwell, W. *Principios universales del diseño*. BLUME. 2011

ICBF. Orientaciones pedagógicas para la atención y la promoción de niñas y niños menores de seis años con parálisis cerebral. 2010. Recuperado el 10 de septiembre de 2015, Disponible en: <http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortalICBF/RecursosMultimedia/Publicaciones/Editoriales1/CARTILLA-CEREBRAL-6.pdf>

Jacobs, J. Managment options for the child with spastic cerebral palsy. *Orthopaedic Nursing*, 20(3), 53-9. 2001

Johnson, D., Damiano, D., & Abel, M. The evolution of gait in childhood and adolescent cerebral palsy. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 17(3), 392-6. 1997

Juan García, F. J. *Evaluación clínica y tratamiento de la espasticidad*. Madrid: Médica panamericana. 2009

Keller, S., Ware, J., & Kosinski, M. A 12-Ítem Short Form Health Survey. Construction of scales and preliminary tests of reliability and Validity. *Medical Care Journal*, 34, 220-233. 1996

Mahoney, F., & Barthel, D. Functional evaluation: the Barthel Index. *Maryland State medical journal*, 14, 61-5. 1965

Martín, F., & Yacuzzi, E. El método Kano en el diseño de productos y servicios. *Interpharma*, 4(9), 24-30. 1997

Miller, F. *Cerebral palsy*. New York: Springer-Verlag. 2005

OMS. *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud*. 2001. Recuperado el 15 de Julio de 2015, Disponible en: <http://es.slideshare.net/MarcelaDahan/oms-clasificacion021>

OMS. Resumen Informe mundial sobre la discapacidad. 2011. Recuperado el 15 de Julio de 2015, Disponible en: http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/summary_es.pdf

Pascual-Pascual, S., Herrera-Galante, & al, e. Guía terapéutica de la espasticidad infantil. *Neurol*, 44(5), 303-9. 2007

Rincon Becerra, O. *Ergonomía y procesos de diseño: consideraciones metodológicas para el desarrollo de sistemas y productos*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. 2010

Romero, D., & Moruno, P. *Actividades de la vida diaria*. Barcelona, España: Elsevier España. 2006

Ruiz, A., & Arteaga, R. PARÁLISIS CEREBRAL Y DISCAPACIDAD. En FEAPS, *Síndromes y apoyos. Panorámica desde la ciencia y desde las asociaciones* (págs. 363-394). 2006. Disponible en: http://www.feaps.org/biblioteca/sindromes_y_apoyos/capitulo14.pdf

Samaniego, P. *Aproximación a las personas con discapacidad en latinoamerica*. Madrid. 2006

Stucki, G., Cieza, A., & Melvin, J. The International Classification of Functioning, Disability and Health: a unifying model for the conceptual description of the rehabilitation strategy. *J Rehabil Med*, 39, 279-285. 2007

Telability. Tratamientos de la espasticidad. 2003. Recuperado el 10 de Octubre de 2015, Disponible en: <http://www.telability.org/handouts/TelAbilityHandoutTreatmentsforSpasticitySP.pdf>

Vivancos-Matellano, F., & et al. Guía del tratamiento integral de la espasticidad. *Neurol*, 45(6), 365-375. 2007

“Ver anexos en la carpeta adjunta en el cd”