

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA UNIDAD ODONTOLÓGICA PORTÁTIL PARA LA  
EMPRESA NEW STETIC S.A.**

**DANIEL LISANDRO GIRALDO VELÁSQUEZ.  
JUAN MANUEL LOAIZA RESTREPO.**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO  
MEDELLÍN  
2008**

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA UNIDAD ODONTOLÓGICA PORTÁTIL PARA LA  
EMPRESA NEW STETIC S.A.**

**DANIEL LISANDRO GIRALDO VELÁSQUEZ.  
JUAN MANUEL LOAIZA RESTREPO.**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE DISEÑO DE  
PRODUCTO.**

**ASESOR: JOSÉ FERNANDO MARTÍNEZ**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO  
MEDELLÍN  
2008**

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES	2
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. JUSTIFICACIÓN	5
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	6
1.4. ALCANCE	6
2. METODOLOGÍA	8
2.1. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA	8
2.2. ETAPAS INICIALES	10
2.2.1. Herramientas de la investigación de usuario.	10
2.2.2. Herramientas de la comparación competitiva.	13
2.2.3. Herramientas de investigación por fuentes secundarias.	14
2.3. ETAPAS INTERMEDIAS	15
2.3.1. Herramientas de la definición del concepto.	15
2.3.2. Herramientas de desarrollo, evaluación y selección modelo preliminar.	17
2.3.3. Herramientas de revisión del concepto.	20
2.4. ETAPAS FINALES	21
2.4.1. Herramientas de desarrollo y selección del modelo final.	21
2.4.2. Herramientas de planeación y construcción del modelo funcional.	23
2.4.3. Herramientas de verificación del modelo funcional.	24

3. ESPECIFICACIÓN DE DISEÑO DE PRODUCTO	27
3.1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA	27
3.1.1. Límites del problema – Declaración de los límites funcionales.	27
3.1.2. Identificación de necesidades del usuario.	28
3.1.3. Análisis competitivo - comparativo con la oferta nacional y extranjera.	29
3.1.4. Matrices de comparación competitiva.	32
3.2. LISTA DE ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE PRODUCTO	34
4. GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO	42
4.1. DEFINICIÓN DE TRES ALTERNATIVAS PRELIMINARES	42
4.1.1. Descripción de la alternativa A.	43
4.1.2. Descripción de la alternativa B.	44
4.1.3. Descripción de la alternativa C.	46
4.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA CON USUARIOS	47
4.2.1. Concepto de funcionamiento odontológico seleccionado.	48
4.2.2. Evaluación escupidera vs. Evacuador.	48
4.2.3. Alternativa seleccionada.	49
4.3. DEL CONCEPTO DEL MODELO PRELIMINAR AL CONCEPTO FINAL	50
4.3.1. Resultados de la revisión de concepto.	51
5. ANÁLISIS DE INGENIERÍA	56
5.1. EXPERIMENTACIÓN CON MODELOS FUNCIONALES	56

5.1.1. Aislamiento acústico.	56
5.1.2. Sistema neumático.	60
5.2. MODELOS VIRTUALES	62
5.2.1. Análisis de Mecanismos.	63
5.3. ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS	67
6. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	72
6.1. ATRIBUTOS CLAVES DEL PRODUCTO	72
6.1.1. Más comodidad y familiaridad.	72
6.1.2. Más todo-terreno.	74
6.1.3. Más diferenciación en tecnología.	76
6.1.4. Más seguridad e higiene.	76
6.1.5. Más integración de funciones.	77
6.2. COSTO DEL PRODUCTO	80
6.2.1. Aproximación al costo total de producción unitario.	80
6.2.2. Distribución de los costos.	80
6.3. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE CADA SISTEMA FUNCIONAL	81
6.4. MODO DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN	82
6.4.1. Instalación y conexión de la unidad.	82
6.4.2. Encendido de la lámpara y el sistema compresor / extractor.	82
6.4.3. Operación de servicios.	82

6.5. ENSAYOS Y PRUEBAS	84
6.5.1. Prueba de usuario. EXPODENTAL 2008.	84
6.5.2. Resultados de ensayos no destructivos.	81
6.6. EFECTIVIDAD DEL DISEÑO	89
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplo de requerimientos encontrados en la normatividad.	14
Tabla 2. Ejemplo de lista de chequeo costo / beneficio.	20
Tabla 3. Lista de necesidades interpretadas a partir de la investigación de usuarios.	28
Tabla 4. Lista de atributos evaluados más relevantes.	31
Tabla 5. Comparación con productos competidores.	33
Tabla 6. Requerimientos generales.	35
Tabla 7. Requerimientos del sillón.	37
Tabla 8. Requerimientos del contenedor.	37
Tabla 9. Requerimientos de la bandeja de instrumentos.	38
Tabla 10. Requerimientos de la butaca.	38
Tabla 11. Requerimientos de la iluminación.	38
Tabla 12. Requerimientos del manual de usuario.	39
Tabla 13. Requerimientos de la unidad / módulo neumático.	39
Tabla 14. Requerimientos del sistema de succión.	40
Tabla 15. Tipos de sistemas funcionales.	48
Tabla 16. Criterios de selección del gabinete acústico.	59
Tabla 17. Prueba de selección del modelo de eyector.	62
Tabla 18. Resultados estudio uno, elementos finitos.	67
Tabla 19. Conclusiones estudio uno.	68
Tabla 20. Resultados estudio dos, elementos finitos.	68

Tabla 21. Conclusiones estudio dos.	69
Tabla 22. Resultados estudio tres, elementos finitos.	69
Tabla 23. Conclusiones estudio tres.	70
Tabla 24. Distribución de costos por componente.	80
Tabla 25. Distribución de costos según origen del componente.	81
Tabla 26. Procesos y costos de componentes.	81
Tabla 27. Atributos y costos.	81
Tabla 28. Cronometría de operaciones de instalación y desensamble.	86
Tabla 29. Dimensiones verificadas.	87
Tabla 30. Peso por componentes y peso total de la unidad.	88
Tabla 31. Puntaje logrado y porcentaje de efectividad.	89
Tabla 32. Calificación y puntaje de los 15 requerimientos más importantes.	89

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Dibujo de concepto preliminar.	15
Fig. 2. Póster para prueba de concepto.	16
Fig. 3. Espectro de ruido del compresor PUMA MA 5700.	19
Fig. 4. Modelación tridimensional.	19
Fig. 5. Ejemplo resultados de análisis de elementos finitos.	22
Fig. 6. Render alternativo del modelo final.	22
Fig. 7. Máquina CNC y molde.	23
Fig. 8. Disposición del stand y modelo durante EXPODENTAL 2008.	24
Fig. 9. Disposición general de la alternativa A.	43
Fig. 10. Detalles de elementos de la alternativa A.	43
Fig. 11. Plegado de la alternativa A.	44
Fig. 12. Disposición general de la alternativa B.	45
Fig. 13. Modificación de la altura alternativa B	45
Fig. 14. Plegado de la alternativa A.	46
Fig. 15. Disposición general de la alternativa C.	47
Fig. 16. Detalle del sillón y plegado de la alternativa C.	47
Fig. 17. Resultados sobre el reemplazo de la escupidera.	49
Fig. 18. Alternativa seleccionada.	49
Fig. 19. Resultados selección de alternativas.	50
Fig. 20. Maquetas y modelo preliminar.	51

Fig. 21. Detalle de la camilla.	52
Fig. 22. Concepto de modificación de altura.	53
Fig. 23. Sonometría del compresor.	57
Fig. 24. Montaje para sonometría.	57
Fig. 25. Gabinete con silenciador removible.	58
Fig. 26. Sonometría. Compresor vs. gabinete con silenciador removible.	58
Fig. 27. Gabinete tipo laberinto (vista en sección).	59
Fig. 28. Sonometría comparativa.	59
Fig. 29. Características de diferentes eyectores.	61
Fig. 30. Modelos de eyectores evaluados.	62
Fig. 31. Entorno de modelación de Solidworks.	63
Fig. 32. Sistema de pivote.	64
Fig. 33. Variación angular del espaldar en modo operatorio.	64
Fig. 34. Variación angular del espaldar al plegarse para transporte.	64
Fig. 35. Variación de las barras y componentes del mecanismo de graduación angular.	65
Fig. 36. Secuencia plegado del apoya-pies.	65
Fig. 37. Puntos de contacto apoya-pies.	66
Fig. 38. Telescópicos y guías lineales.	66
Fig. 39. Guías del sistema ajuste del sillón a la base.	67
Fig. 40. Posición de la bandeja y servicios.	73
Fig. 41. Sistema elevación.	73

Fig. 42. Acople simétrico de módulos.	74
Fig. 43. Usuario cargando el sillón	75
Fig. 44. Fotografía modulo cart.	75
Fig. 45. Lámpara de iluminación por LED.	76
Fig. 46. Puntos de contacto con el piso.	77
Fig. 47. Imágenes de almacenamiento de componentes.	77
Fig. 48. Sillón. a) Posición operatoria, b) Posición de transporte.	78
Fig. 49. Platina apoya-pies.	78
Fig.50. Agarradera. a) Posición estática, b) Posición de transporte .	79
Fig. 51. Butaca guardada.	79
Fig. 52. Componentes de la UOP.	81
Fig. 53. Modulo de succión: desensamble y apertura.	83
Fig. 54. Comparativo del espectro de ruido del prototipo alfa.	85
Fig. 55. Posiciones de la lámpara. Ángulos máximos en el plano longitudinal.	87
Fig. 56. Posiciones de la lámpara. Ángulos máximos en el plano transversal.	87

## LISTA DE CUADROS.

Cuadro 1. Esquema general del proyecto realizado.	9
Cuadro 2. Ficha de seguimiento de entrevistas en profundidad.	11
Cuadro 3. Ficha técnica de la prueba de actitudes y percepciones.	11
Cuadro 4. Ejemplo Prueba de actitud y percepciones.	11
Cuadro 5. Ficha técnica de la encuesta sobre logística y mantenimiento.	12
Cuadro 6. Ficha técnica de la encuesta a odontólogos.	12
Cuadro 7. Ejemplo de pregunta ordinal.	12
Cuadro 8. Ejemplo Mapa de atributos.	13
Cuadro 9. Normas técnicas revisadas.	14
Cuadro 10. Ficha técnica de la prueba de concepto.	16
Cuadro 11. Detalle cuestionario prueba de concepto.	16
Cuadro 12. Modelos físicos contruidos.	17
Cuadro 13. Pruebas realizadas por medios científicos.	25
Cuadro 14. Etapas iniciales y resultados.	27
Cuadro 15. Modelos de unidades portátiles nacionales.	30
Cuadro 16. Etapas intermedias y la especificación final.	35
Cuadro 17. Etapas de la generación y evaluación de alternativas de diseño.	42
Cuadro 18. Redefinición del Volumen y forma de llevar la unidad.	51
Cuadro 19. Redefinición del contenedor.	51
Cuadro 20. Redefinición de la Superficie del sillón.	52

Cuadro 21. Redefinición del Concepto de modificación de altura.	53
Cuadro 22. Redefinición del costo.	54
Cuadro 23. Redefinición de mercado.	54
Cuadro 24. Etapas de análisis de ingeniería.	56
Cuadro 25. Características comparadas de generadores de vacío.	60
Cuadro 26. Requerimientos de los evacuadores y tipo de generador de succión.	60
Cuadro 27. Lectura de la percepción sobre el peso durante la prueba de concepto.	96

## INTRODUCCIÓN

El *diseño y desarrollo de una unidad odontológica portátil para la empresa New Stetic S.A.* fue un proceso lógico de aplicación de las metodologías de la ingeniería de diseño de producto para la obtención de un resultado objetivo. Este informe pretende demostrar la implementación exitosa de dichas metodologías mediante las cuales se logró un resultado tangible y valioso tanto en su aspecto académico como de aplicación industrial.

El punto de partida lo constituyó el hallazgo de una situación de diseño particular: la atención odontológica con equipos especialmente adaptados para el trabajo en sitios fuera del consultorio o *ex situ*. La empresa colombiana New Stetic, líder del sector odontológico en la región, acogió la iniciativa del equipo de estudiantes de ingeniería de diseño de producto para la formulación de un proyecto que planteara una solución a dicha situación de diseño. Así pues, el punto al cual se llegó corresponde a una solución expresada en un diseño de producto y su realización en un prototipo o modelo funcional demostrativo.

La evaluación de los antecedentes de la situación de diseño demostró la necesidad de desarrollar un diseño de producto que reuniera las condiciones de posibilidad para el aprovechamiento de las oportunidades dadas en el mercado para este tipo de equipos (capítulo uno). En consecuencia, el objetivo general planteado para el proyecto consistió en el logro de estas condiciones, para lo cual se formularon metodologías tendientes a dicha meta.

La metodología en general se apoya en los lineamientos planteados por los autores Karl Ulrich y Steven Eppinger para el diseño y desarrollo de productos (capítulo dos). Dadas las características complejas de la interacción de la persona con el producto, se privilegiaron a lo largo del proyecto, los canales de información directa con los consumidores, compradores o usuarios de este tipo de equipos. En este sentido, la formulación de las necesidades del usuario y su traducción en términos objetivos en la forma de una especificación de diseño (capítulo tres) resultó central en la toma de decisiones a lo largo del proceso de generación y evaluación de alternativas que llevaron al diseño final del producto (capítulo cuatro). La verificación y el refinamiento constante de la especificación de diseño condujeron a la necesidad de estudiar fenómenos físicos asociados al producto por medio de modelos experimentales y analíticos (capítulo cinco).

Finalmente el resultado fue un diseño de una unidad odontológica portátil y su modelo demostrativo construido de tal forma que fuese apto para la verificación del grado de satisfacción de las necesidades planteadas en la especificación de diseño mediante ensayos no destructivos y prueba de usuario (capítulo seis).

Capítulo 1

# Generalidades.

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005), una mejor salud es central para el bienestar y felicidad de los seres humanos. Propender por este bienestar se ha establecido como parte esencial en programas de gobierno de todo el mundo. Desde el año 2000, 189 países se han comprometido ante la Organización de las Naciones Unidas en una hoja de ruta que establece los objetivos a lograr para el año 2015. De las ocho metas establecidas, tres apuntan específicamente a mejorar la salud de la población, especialmente la más desprotegida (OMS, 2005).

Así mismo, la OMS ha puesto en manifiesto que las enfermedades bucodentales, como la caries dental, la periodontitis (enfermedad gingival), los cánceres de boca y de faringe, afectan cada vez con mayor frecuencia a los países en vías de desarrollo, en especial a las comunidades más pobres (OMS, 2004). En esta misma declaración, se advierte sobre el incremento de la incidencia de la caries debido a los cambios de hábitos en los que se presenta un aumento en el consumo de azúcares así como una disminución en la exposición al fluor a causa de una insuficiente atención odontológica.

El Programa Mundial de Salud Bucodental, afirma que los efectos de las enfermedades bucodentales sobre la calidad de vida de la población son considerables, teniendo en cuenta que incluso en los países desarrollados, hasta el 90% de la población se encuentra afectada por alguna de enfermedad bucodental. De igual forma, el impacto económico de estas enfermedades sobre el gasto del sistema sanitario asciende hasta el 10 %, superando en muchos casos los recursos de países en desarrollo (OMS, 2004).

El tema del VIH/Sida es también de suma importancia en las campañas de salud bucodental, pues las primeras lesiones que evidencian la existencia de esta enfermedad se presentan principalmente en la boca y dientes (Organización Panamericana de la Salud OPS, 1998). El desarrollo de servicios de atención primaria de salud bucodental contribuye directamente en el diagnóstico precoz y prevención de esta enfermedad (OMS, 2004). Caso similar sucede con el cáncer de boca y de faringe, los cuales aunque son diagnosticables en sus estados premalignos, por inspección visual de las cavidades, esto no se realiza sino hasta muy avanzada la enfermedad (OPS, 1998)

En Colombia alrededor del 23% de la población está afiliada a régimen subsidiado de salud y hasta el 40% se encuentra en régimen contributivo (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2003). La constitución de 1991 prescribe que Colombia es un Estado social de derecho que protege y garantiza los derechos fundamentales de sus ciudadanos, entre los que se encuentra la vida y por conexidad la salud (Constitución Política de Colombia, 1991). A partir de la Ley 100 de 1993, se establece el deber del

Estado de garantizar “los derechos irrenunciables de la persona y la comunidad para obtener la calidad de vida acorde con la dignidad humana, mediante la protección de las contingencias que la afecten” (Congreso de la República, 1993). Como consecuencia se crea el Sistema de Seguridad Social Integral, el cual es dirigido, controlado y regulado por el Estado. Dentro de las regulaciones que el Gobierno colombiano ha desarrollado, se encuentran las relativas a lo que debe incluir y cubrir el Plan Obligatorio de Salud (POS), en el cual se define el servicio de odontología como parte de este sistema.

En el país existen alrededor de 31 facultades de odontología (Federación Odontológica Colombiana, 2007), muchas de ellas prestan servicios de carácter social para dar solución a las necesidades básicas de salud oral de población desplazada y de bajos ingresos económicos.

Las fuerzas militares (ejército, armada y fuerza aérea) dentro de su misión de atención humanitaria llevan a los lugares más apartados de Colombia misiones de atención en salud que incluyen el área bucodental (Ejército Nacional de Colombia, 2007).

La atención odontológica requiere de múltiples elementos indispensables bajo cualquier circunstancia (Servicio Odontológico Hospital El Carmen, 2002). Para la atención en los sitios en donde estos elementos mínimos no se encuentran disponibles, es necesario llevarlos desde la ciudad o centro de apoyo sanitario más cercano. Si bien el instrumental de mano no presenta dificultades para el desplazamiento, los equipos más voluminosos y pesados como el sillón, la torre de iluminación, la escupidera y especialmente el sistema neumático no están diseñados para ser movidos de un lugar a otro con regularidad, son equipos fijos al espacio dentro del consultorio odontológico.

La atención en estos sitios apartados o con limitaciones en la disponibilidad de equipos es llevada a cabo por brigadas de salud y misiones médicas. Éstas, a parte del personal profesional, se ven obligadas a llevar equipos de odontología y equipos auxiliares para la prestación de los servicios básicos.

Un ejemplo de lo anterior, lo constituye la Facultad de odontología de la Universidad de Antioquia, la cual cuenta en la ciudad de Medellín con 5 centros de atención coordinados por diferentes fundaciones, donde se tienen aproximadamente 35 unidades portátiles para la atención de pacientes.

Actualmente la empresa New Stetic S.A comercializa un producto llamado Unidad Odontológica Portátil, el cual pretende satisfacer la necesidad de las brigadas de salud de contar con el conjunto de equipos básicos para la atención odontológica de manera portátil. De igual forma este producto es ofrecido por otras empresas de la región con atributos más o menos similares.

Si bien la empresa New Stetic S.A. se destaca por la alta calidad de sus productos, la estandarización de sus procesos y la preocupación por la investigación y desarrollo, la línea de Unidades Odontológicas Portátiles no ha entrado a formar parte de su oferta de productos de forma permanente debido principalmente a un diseño de producto poco diferenciado tanto formal como funcionalmente. En general, la oferta consiste en un producto bajo pedido, de bajo costo y sin mayor valor agregado. Su atributo central consiste en que sea portátil y "todo en uno". En cuanto a sus desventajas de diseño, se puede decir que el producto es una colección de piezas inconexas que si bien cumplen una función en si mismas, no garantizan un conjunto coherente tanto estética como arquitectónicamente.

Entre las causas encontradas del escaso diferenciamiento del producto se encuentran, la inexistente estandarización del proceso de fabricación, el cambio de proveedores de piezas, la escasez de información proveniente del usuario final (debido a que el comprador es usualmente institucional, lo que dificulta el conocimiento del usuario final: el odontólogo) y el inadecuado diseño.

A pesar de la poca diferenciación, la empresa considera que el producto está aún en una fase embrionaria ya que posee un gran potencial de mejoras para su reintroducción en el mercado.

En el año 2004 la empresa New Stetic decide comercializar Unidades Odontológicas Portátiles bajo pedido, llegando a exportar alrededor de 700 unidades ese mismo año. Para esto, recurrieron en un primer momento a fabricantes locales de camillas y unidades neumáticas para satisfacer la demanda. Sin embargo, después del primer año, la empresa comienza a producir internamente las primeras unidades neumáticas, introduciendo mejoras en cuanto a las prestaciones funcionales y obedeciendo a los requerimientos específicos de cada cliente. Finalmente en el año 2007, se toma la decisión de revisar el diseño del producto con el fin de generar una propuesta diferenciada respecto de la oferta existente.

Entre los compradores de Unidades Odontológicas Portátiles se encuentran: servicios de salud gubernamentales de la mayoría de los países de centro y Suramérica, Secretarías de salud de todos los departamentos de Colombia así como facultades de odontología de universidades públicas y privadas.

En Colombia y la región, New Stetic S.A. es la empresa líder en el sector odontológico. La oferta de Unidades Odontológicas Portátiles se reduce a las empresas Unident, Myllan Products, Italdent, Audencol, Occidentales y otras pocas comercializadoras. Si bien algunas de estas empresas tienen exportaciones estas son intermitentes y de poco volumen.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

El diseño de la Unidad Odontológica Portátil es una oportunidad que está dada por los siguientes aspectos:

- **Nicho de mercado poco explotado:** la constante preocupación de los gobiernos e instituciones por proveer mejores servicios de atención odontológica a las poblaciones aisladas y más afectadas por problemas sanitarios. Se debe además tener en cuenta la creciente tendencia hacia la atención domiciliaria.
- **Inexistente diferenciación de la oferta de productos:** en el mercado nacional y regional, el diseño de estos productos es prácticamente mínimo, obedeciendo sólo a los aspectos prácticos de la producción.
- **Iniciativa de la empresa para comercializar un producto superior:** New Stetic S.A. pretende reafirmar su imagen como empresa líder en la fabricación de productos competitivos en el mercado extranjero. Para esto es necesario que todos sus productos posean un valor superior tanto en calidad como en diseño.

La Unidad Odontológica Portátil es un componente indispensable en la solución del problema de suministrar atención básica odontológica en lugares en los que no existen las condiciones apropiadas para este servicio. El producto permite la atención básica de primer orden por parte de brigadas de salud llevadas a cabo tanto por instituciones públicas como privadas. De igual forma, permite la atención inmediata de emergencias odontológicas en casos en los que el afectado no pueda movilizarse hasta los centros de atención.

Cabe resaltar que gracias a la Ley 100 del 93, el propósito del Sistema de Seguridad Social Integral es la universalidad de la cobertura (Congreso de la República, 1993), la cual en comparación con otros países de la región, es muy buena (Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, 2006). Lo anterior implica que las entidades públicas y privadas prestadoras de servicios de salud, tienen una demanda constante y creciente de equipos como la Unidad Odontológica Portátil para la adecuada cobertura en el territorio nacional. De igual forma, las Fuerzas Armadas, las facultades de odontología, así como otras entidades sin ánimo de lucro, requieren de equipos con mejores atributos para la prestación de sus servicios a la comunidad y prácticas académicas.

El gran mercado potencial del producto lo constituye el mercado extranjero conformado igualmente por instituciones públicas, universidades y entidades prestadoras de servicios sanitarios de sus respectivos países.

Actualmente New Stetic S.A. cuenta con una plataforma de exportaciones permanente y confiable. Con base en esta ventaja existente y aportando un diseño de producto con valor agregado, la Unidad Odontológica Portátil tendrá las condiciones de posibilidad para ser un producto competitivo internacionalmente, permitiendo así ampliar de forma considerable el número de destinos comerciales en el extranjero.

Un valor superior está dado por atributos tales como: ser un producto amigable, con poco volumen para su fácil transporte, resistente a múltiples condiciones de uso, larga vida útil, eficiente y atractivo visualmente.

Este proyecto es además, por su complejidad y multiplicidad de variables, la oportunidad para poner en práctica herramientas y habilidades del Ingeniero de Diseño de Producto en áreas como neumática y control, ergonomía, mecanismos, materiales innovadores, diseño para ensamble, procesos productivos, pensamiento sistémico y metódico, cumpliendo así a cabalidad las expectativas de un proyecto de grado para optar al título profesional.

### **1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **1.3.1. General.**

Diseñar y desarrollar una unidad odontológica portátil de atención básica que satisfaga la iniciativa de la empresa New Stetic S.A. de crear un producto con valor agregado para la demanda de equipos de atención odontológica en el mercado nacional y extranjero.

#### **1.3.2. Específicos.**

- Identificar las necesidades y deseos de los usuarios, plasmándolas de forma cuantitativa y cualitativa en la especificación de diseño de producto.
- Evaluar y seleccionar el concepto de diseño funcional y formal que resuelva la especificación de diseño planteada por el cliente y los usuarios.
- Realizar la depuración del concepto funcional y formal en términos de la manufactura del producto, creando modelos virtuales de evaluación y construcción.
- Ejecutar el proceso de construcción de un modelo funcional del producto de acuerdo con los parámetros establecidos en el proceso de diseño.
- Realizar ensayos y pruebas sobre el modelo funcional que permitan la verificación de la especificación de diseño.

### **1.4. ALCANCE**

Se planteó la construcción de un modelo funcional que abarque todos los aspectos funcionales del diseño y que sea apto para realizar pruebas de verificación de especificaciones de carácter no destructivo.

Capítulo 2

# Metodología.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. RESUMEN DE LA METODOLOGÍA

La metodología aplicada en el desarrollo del proyecto siguió en términos generales las pautas establecidas por Ulrich y Eppinger (2004) para el diseño y desarrollo de productos. El seguimiento de esta metodología permitió llevar una ruta de acciones enfocada hacia el desarrollo de proyectos dentro de la empresa desde diferentes perspectivas como el mercadeo, el diseño y la manufactura.

En cada etapa del proyecto se implementaron además otras metodologías particulares a cada una de ellas. De esta forma, las etapas iniciales tuvieron como referencia las metodologías de investigación de mercados de Mc Daniel y Gates (1995). Igualmente se aplicaron métodos de McGrath y McMillan (2000) para el estudio del rediseño de productos. Las etapas intermedias tuvieron como punto de referencia la generación de conceptos de Baxter (1995) así como la formulación de la especificación de diseño de Pugh (1991). Las etapas finales se apoyaron además en los conceptos de manufactura de Groover (1997).

El esquema general del proyecto realizado (cuadro 1) muestra las etapas, las actividades y herramientas utilizadas en cada etapa así como los resultados de la aplicación de estas herramientas. Las etapas fueron agrupadas con el fin de describir tres fases generales del proyecto. Las etapas iniciales comprenden la investigación de usuarios, la comparación competitiva, y la recopilación de estándares. Las etapas intermedias describen la definición del concepto, el desarrollo del modelo preliminar y la revisión del concepto. Las etapas finales detallan el desarrollo del modelo final, la construcción del modelo funcional y la verificación final. A lo largo de este capítulo, las etapas son descritas haciendo énfasis en las herramientas metodológicas implementadas más relevantes. Cada descripción de herramienta es complementada con un ejemplo de su aplicación durante el proceso llevado a cabo.

Cuadro 1. Esquema general del proyecto realizado.

Etapa	Actividades y Herramientas utilizadas			Resultados obtenidos		
Investigación de usuarios	Análisis del alcance			Límites funcionales	Generación de la especificación de diseño de producto	
	Exploración preliminar	Verificación de actitudes y percepciones	Definición de hipótesis con usuarios	Lista de necesidades		
Comparación competitiva	Análisis primario de la oferta nacional			Mapa de atributos + Matriz de comparación competitiva nacional		
	Información secundaria de la oferta nacional					
	Análisis del producto del cliente			Matriz de comparación competitiva extranjera		
	Información secundaria de la oferta extranjera					
Estándares	Recopilación de normas y catálogos			Lista preliminar de requerimientos		
	Análisis de bibliografía de referencia					
Definición concepto	Clarificación del problema			Árbol de funciones		Refinamiento de la especificación de diseño de producto
	Exploración conceptual	Asesoría externa	Síntesis conceptual	3 Alternativas preliminares		
	Prueba de concepto con usuarios			Selección del concepto de diseño		
Modelo preliminar	Desarrollo formal y arquitectura			Modelo preliminar		
	Análisis de ingeniería (A.I.): Experimentación					
	A.I.: Procesos / costos					
	A.I.: Modelaciones virtuales					
Revisión concepto	Verificación de cumplimiento de la especificación de diseño	Revisión con el cliente	Variación del concepto	Selección del concepto final		
Modelo final	Desarrollo formal y arquitectura		Producción gráfica	Modelo final		
	Análisis de ingeniería A.I.: modelos DFA					
	A.I.: modelos mecánicos					
	A.I.: modelos elementos finitos					
Construcción	Plan de construcción	CAD	CAM	Documentación para producción		
	Fabricación componentes	Ensamble		Modelo funcional (prototipo alfa)		
Verificación	Plan de pruebas	Experimentación		Verificación de la especificación de diseño del producto		
	Verificación de costos					
	Prueba de usuario / cliente					

## **2.2. ETAPAS INICIALES**

El periodo preliminar al proceso de diseño tuvo tres campos de acción simultáneos claramente marcados. Estos son: conocimiento de las necesidades del usuario / comprador, conocimiento de los productos competidores y conocimiento de las condiciones globales del problema de diseño en términos de estándares, prácticas y normas técnicas. El resultado global de estas primeras etapas consistió en la elaboración de una especificación objeto siguiendo la metodología planteada por Ulrich y Eppinger (2004: 71-91) y Pugh (1991: 48-64). Ver anexo A24 y numeral 3.2.

### **2.2.1. Herramientas de la investigación de usuario.**

El proceso de conocimiento de las necesidades del usuario / comprador siguió la metodología de investigación integral de mercados empleando fuentes primarias de manera descriptiva y técnicas de observación y encuesta. Ver anexo A4. De acuerdo con la metodología, el proceso se dividió en dos fases: La primera se definió como investigación exploratoria, cuyo propósito consistió en el hallazgo de hipótesis probables a través de herramientas de captación de información de manera abierta y flexible. La segunda fase se definió como investigación concluyente, la cual tuvo como propósito la verificación mediante encuestas de las hipótesis halladas previamente y la formulación de líneas de acción.

- **Entrevistas en profundidad y cuestionario de actitudes y percepciones.**

El primer paso de la exploración fue la concertación de entrevistas en profundidad y sesiones fotográficas de las unidades actuales con usuarios, en su mayoría de la Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquia, en tanto es allí donde mayor experiencia se ha tenido con las unidades actuales en la ciudad. Ver cuadro 2. El verbatim<sup>1</sup> de estas entrevistas dio lugar a un recorrido temático a partir del cual se pudieron extraer actitudes, percepciones y opiniones comunes. Ver informe en Anexo A5. Para el paso siguiente, la interpretación cualitativa de estos lugares comunes arrojó una lista de hipótesis preliminares que fueron plasmadas en 31 declaraciones sobre el producto existente. Con estas declaraciones se pudo formular una prueba de actitud frente al producto cuya finalidad consistió en clarificar las hipótesis preliminares. El análisis de la prueba permitió descartar problemas y establecer un grupo de hipótesis probables susceptibles de verificación. Ver Anexos A6, A7, A8. Ver ficha técnica en el cuadro 3 y ejemplo de la encuesta formulada, cuadro 4, donde se muestra la aplicación de la escala likert para la evaluación de percepciones.

---

<sup>1</sup> *Recopilación de enunciados tal y como fueron dichos por los entrevistados.*

Cuadro 2. Ficha de seguimiento de entrevistas en profundidad. Anexo A5

ENTREVISTADO	OCUPACIÓN	LUGAR	FECHA
Gustavo Acevedo	Administrador F. de O., U. de A.	Facultad de Odontología. U. de A.	Noviembre 7 de 2007.
Juan Manuel	Técnico de mantenimiento.	Facultad de Odontología. U. de A.	Noviembre 7 de 2007.
Luis Fernando	Técnico de mantenimiento.	Facultad de Odontología. U. de A.	Noviembre 7 de 2007.
Dra. Paola Hurtado	Odontóloga profesora U. de A.	Escuela Merceditas Gómez.	Noviembre 8 de 2007.
Dr. Tomás Bernal	Odontólogo profesor U. de A.	Fundación Golondrinas.	Noviembre 8 de 2007.
Dra. Paulina Gaviria	Odontóloga CES	New Stetic Medellín.	Noviembre 8 de 2007.
Margarita Jaramillo	Estudiante de odontología.	Facultad de Odontología. U. de A.	Noviembre 15 de 2007.

Cuadro 3. Ficha técnica de la prueba de actitudes y percepciones. Anexo A8.

ENCUESTA: PRUEBA DE ACTITUDES Y PERCEPCIONES DE LA UNIDAD ODONTOLÓGICA PORTÁTIL.	
Fecha:	Noviembre de 2007
Población:	Practicantes y odontólogos de la Universidad de Antioquia
Método de recopilación:	Cuestionario cerrado. Suministrado a cada encuestado.
Método de muestreo:	No probabilístico, por conveniencia. <sup>2</sup>
Tamaño de la muestra realizada:	29

Cuadro 4. Ejemplo Prueba de actitud y percepciones. Anexo A6.

Por favor responda libremente señalando la respuesta que más se acomode a su opinión respecto de cada enunciado.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	indiferente	En Desacuerdo	Totalmente en Desacuerdo
25. El nivel de ruido que emite la unidad no incomoda ni a mí, ni al paciente.					
26. Manipular o mover la lámpara me resulta complicado.					

<sup>2</sup> Método de muestreo en donde los encuestados se seleccionan deliberadamente (notas de clase: investigación de mercados)

- **Encuestas a odontólogos y personal de mantenimiento y logística.**

Para la verificación con encuestas, se dividió la población en dos grupos de interés. El primero, más pequeño, comprendió el personal con tareas de compra, logística y mantenimiento de las unidades portátiles en la Universidad de Antioquia y el Ministerio de Salud Pública de la República de Cuba, uno de los clientes de New Stetic. El segundo, reunió a 50 practicantes y profesores de odontología de la Universidad de Antioquia. El desarrollo completo de estas encuestas se encuentra en los anexos A9 al A16. Cada grupo recibió una encuesta específica cuya formulación se hizo de forma tal que los encuestados establecían relaciones y pesos comparativos entre los enunciados, dando como resultado una **lista de necesidades** en orden de importancia la cual se encuentra en el anexo A17. En los cuadros 5 y 6 se muestra la ficha técnica de estas encuestas. El cuadro 7 muestra un ejemplo de pregunta ordinal indicada para establecer jerarquías entre elementos.

Cuadro 5. Ficha técnica de la encuesta sobre logística y mantenimiento. Anexo A12.

<b>ENCUESTA SOBRE TENENCIA, LOGÍSTICA Y MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES PORTÁTILES.</b>	
Fecha:	Diciembre de 2007 y enero de 2008
Población:	Personal de apoyo de la U de A y clientes seleccionados de New Stetic.
Método de recopilación:	Cuestionario semiabierto. Suministrado a cada encuestado.
Método de muestreo:	No probabilístico, por conveniencia.
Tamaño de la muestra realizada:	7

Cuadro 6. Ficha técnica de la encuesta a odontólogos. Anexo A16.

<b>ENCUESTA DIRIGIDA A PRACTICANTES Y ODONTÓLOGOS SOBRE LA UNIDAD PORTÁTIL.</b>	
Fecha:	Diciembre de 2007 y enero de 2008
Población:	Practicantes y odontólogos de la Universidad de Antioquia
Método de recopilación:	Cuestionario cerrado. Suministrado a cada encuestado.
Método de muestreo:	No probabilístico, por conveniencia.
Tamaño de la muestra realizada:	50

Cuadro 7. Ejemplo de pregunta ordinal. Anexo A10.

<b>Ordene las siguientes características de la tela de la camilla. Anote 1 frente a la característica que sea más deseable, 2 junto a la segunda característica deseable y continúe en esa forma hasta que haya calificado a las 4 características enunciadas. El número 4 corresponde a la característica menos relevante.</b>
A. ____ Que las costuras no se dañen con el uso. B. ____ Que no se decolore con el paso del tiempo. C. ____ Que no se deforme permanentemente con el peso de los pacientes D. ____ Que resista rayones y rasgado causado por elementos cortantes.

### 2.2.2. Herramientas de la comparación competitiva.

El conocimiento de los productos competidores se enmarcó tanto en el formato de investigación por fuentes secundarias como en el de investigación por fuentes primarias. La comparación competitiva se alimentó además del análisis del producto ofertado por el cliente. Ver descripción en los anexos A3 y A66.

Dentro del formato de investigación por fuentes primarias se realizó una lista de fabricantes nacionales de unidades portátiles. Se realizaron visitas a aquellos fabricantes con puntos de venta en Bogotá y Medellín durante las cuales se pudo recopilar información directa de sus productos. Ver anexo A18.

- **Visitas y entrevistas a fabricantes nacionales.**

Se realizaron seis visitas siguiendo técnicas de entrevista guiada al personal de ventas y de ingeniería así como técnicas de observación y experimentación de los equipos y manuales de usuario. La información recopilada tanto de forma primaria como secundaria de la competencia, permitió la elaboración de dos matrices comparativas con el producto existente y un mapa de atributos respecto a los productos más representativos del mercado. En el cuadro 8 se aprecia un extracto del mapa mostrado en el numeral 3.1.3. Las matrices completas se muestran en el numeral 3.1.4.

Cuadro 8. Ejemplo Mapa de atributos.

<b>ATRIBUTOS POSITIVOS-BÁSICOS.</b> <b>"No negociables"</b> <b>Hacen que el producto se desempeñe al menos igual de bien que el de la competencia.</b>
Resistencia de hasta 150 Kg. de carga en la camilla. Pintura resistente a rayones. Bandeja metálica fácilmente removible y esterilizable. Camilla con relleno de espuma para comodidad del paciente. Mecanismo de ajuste rápido del espaldar de la camilla. Válvula de agua visible y accesible. Sistema de eyector de saliva. Lona fácil de retirar

### 2.2.3. Herramientas de investigación por fuentes secundarias.

El conocimiento de las condiciones globales del problema de diseño se definió dentro del formato de investigación por fuentes secundarias, esto es, búsqueda y clasificación de información recopilada por terceros y existente en sistemas de información accesibles al público. Ver planteamiento en anexo A19. Entre los sistemas de información consultados más importantes se encuentran la base de datos del Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, la biblioteca de la Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquia, la biblioteca de la Universidad Eafit así como otros sistemas consultados por medio de la Internet. La información básica recopilada se encuentra en los anexos A20 y A21.

Las herramientas de investigación por fuentes secundarias permitieron extraer una lista de requerimientos, la cual se encuentra en el anexo A23.

- **Base de datos del ICONTEC.**

En el cuadro 9 se referencia las normas de las cuales se tomaron algunos requerimientos técnicos importantes verificables por métodos no destructivos. Algunos de estos requerimientos se muestran en la tabla 1.

Cuadro 9. Normas técnicas revisadas.

<b>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 2256.</b>	Odontología. Sillas de uso odontológico.
<b>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 2283.</b>	Odontología. Butacos para uso odontológico.
<b>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 5448.</b>	Odontología. Unidades Dentales.
<b>INTERNATIONAL STANDARD 9680.</b>	<i>Dentistry-Operating Lights.</i>
<b>INTERNATIONAL STANDARD 10637.</b>	<i>Dental equipment-High-and medium-volume suction systems.</i>

Tabla 1. Ejemplo de requerimientos encontrados en la normatividad.

COMPONENTE	CARACTERÍSTICA	VALORES	UNIDADES
Sillón	Variación del ángulo entre espaldar y asiento.	110° - 180°	-
Sillón	Altura máxima del asiento en su posición más baja.	550	mm.
Butaca	Altura máxima del asiento en su posición más baja.	420	mm.
Butaca	Ancho mínimo del asiento.	350	mm.
Evacuador	Nivel máximo de ruido a una distancia de 0.5m del conector.	60	dB-A
Iluminación	Nivel de iluminancia mínimo y máximo.	8000 – 20000	lx.
Iluminación	Máxima radiación UV entre 180 y 400 nm.	0.008	W/m <sup>2</sup>

## 2.3. ETAPAS INTERMEDIAS

Durante estas etapas se desarrollaron el concepto formal y funcional básico para cada sistema así como la especificación final de diseño de producto.

### 2.3.1. Herramientas de la definición del concepto.

El proceso de definición del concepto se desarrolló bajo el esquema de búsqueda y generación, clasificación, desarrollo de tres alternativas conceptuales y selección de una alternativa a partir de la evaluación mediante una prueba de concepto.

En principio, la generación de conceptos siguió una metodología de cuatro pasos (Ulrich y Eppinger, 2004: 97-110) descrita en el anexo A25. El primer paso consistió en la clarificación del problema y el enfoque en subproblemas críticos del árbol de funciones (anexos A26 y A27). Los pasos dos y tres son herramientas cuyo objeto fue la búsqueda de conceptos solución a los subproblemas, el uno de forma externa (investigación y asesoramiento) y el otro de forma interna (creación). El cuarto paso permitió explorar sistemáticamente los conceptos hallados para finalmente dar como resultado un conjunto de tres soluciones integradas de las cuales se seleccionó una mediante la herramienta de la prueba de concepto.

- **Exploración y clasificación en la mesa de dibujo.**

Siguiendo los métodos de la búsqueda interna, como las analogías, brainstorming y otros, se generaron dibujos y esquemas de manera libre. Ver Fig. 1. Luego de esto, los dibujos y esquemas fueron agrupados y clasificados según los principios de diseño emergentes durante la exploración hasta llegar a la formulación de tres alternativas preliminares cada una de las cuales reunió un balance diferente de atributos de producto. Ver esquemas y dibujos en el anexo A28.

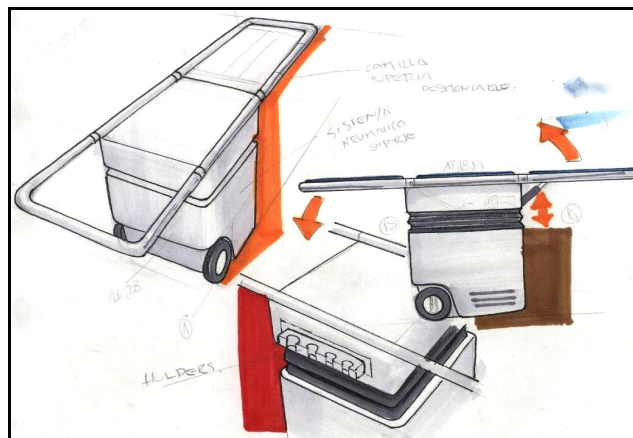


Fig. 1. Dibujo de concepto preliminar.

- **Prueba de concepto y Selección de concepto**

Las tres alternativas conceptuales desarrolladas y los conceptos funcionales fueron puestos a consideración de una población de odontólogos con el fin de establecer los atributos más indicados para el concepto ulterior. Para esta prueba (anexo A29), las alternativas fueron modeladas, renderizadas y dispuestas en un formato gráfico de póster de fácil lectura. Ver Fig. 2 y póster completos en el anexo A31. Se convinieron entrevistas personales con odontólogos a los cuales se les explicaba y mostraba las alternativas para luego suministrarles una encuesta (anexo A30). Ver cuadro 10. Ficha técnica y cuadro 11 Detalle de la encuesta prueba de concepto.

El resultado de esta prueba de concepto (numeral 4.2) consistió en la selección del concepto de diseño a partir de una de las tres alternativas y la combinación de los mejores atributos del conjunto de alternativas. Ver tabulación e informe en anexos A32 y A33.



Fig. 2. Póster para prueba de concepto. Anexo A31.

Cuadro 10. Ficha técnica de la prueba de concepto. Anexo A29

ENCUESTA PARA ESTABLECER EL CONCEPTO DE DISEÑO DE LA UNIDAD ODONTOLÓGICA PORTÁTIL.	
Fecha:	Febrero de 2008
Población:	Odontólogos de Medellín.
Método de recopilación:	Cuestionario semiabierto. Suministrado a cada encuestado.
Método de muestreo:	No probabilístico, por conveniencia.
Tamaño de la muestra realizada:	33

Cuadro 11. Detalle cuestionario prueba de concepto. Anexo A30.

6. Señale la respuesta que mejor exprese su opinión.
El evacuador/eyector de alto volumen reemplaza en forma suficiente la función de la escupidera.
A. ___ Totalmente de acuerdo
B. ___ De acuerdo
C. ___ Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
D. ___ En desacuerdo
E. ___ Totalmente en desacuerdo

### 2.3.2. Herramientas de desarrollo, evaluación y selección del modelo preliminar



Una vez seleccionado el concepto formal y funcional se procedió al desarrollo de un modelo preliminar utilizando herramientas de dibujo (anexo A34), cálculo, modelación virtual, elaboración de maquetas y construcción de modelos físicos para la verificación tanto de funciones particulares como de costos y características de producción. Se evaluaron además componentes estándar como el tipo de compresor (anexo A35) y circuitos eléctricos y neumáticos (anexos A41, A43 y A44)

Los modelos analíticos, virtuales y físicos sirvieron para depurar el concepto de diseño bajo criterios verificables. Igualmente se utilizaron los criterios de evaluación extraídos directamente de la especificación de diseño de producto la cual a su vez, recibió la retroalimentación necesaria para su refinamiento a partir de los modelos desarrollados. Este último proceso se detalla en el anexo A47.

- **Construcción de modelos físicos.**

Se construyeron cinco componentes de forma independiente para la evaluación de elementos puntuales de su forma y funcionamiento. El cuadro 12 muestra los modelos físicos construidos y las pruebas realizadas con estos. Ver anexos A38, A40 y A42.

Cuadro 12. Modelos físicos construidos.

COMPONENTE	IMAGEN	COMPROBACIONES REALIZADAS
Sistema neumático y de succión		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manometría de las piezas de mano.</li> <li>• Comparación de dos tipos de eyector venturi.</li> <li>• Verificación de la capacidad de succión.</li> </ul>
Panel de mandos		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de producción.</li> <li>• Peso del componente.</li> <li>• Propiedades visuales.</li> <li>• Ergonomía del usuario.</li> </ul>

Gabinete de aislamiento acústico con silenciador lineal			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonometría comparativa.</li> <li>• Peso del componente.</li> <li>• Ventilación.</li> </ul>
Gabinete de aislamiento acústico con silenciador en "S" y extractor de aire.			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonometría comparativa.</li> <li>• Peso del componente.</li> <li>• Ventilación.</li> </ul>
Estructura base y ensamble parcial.			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso del ensamble.</li> <li>• Propiedades visuales.</li> <li>• Ergonomía del usuario.</li> </ul>

- **Análisis de ingeniería del modelo preliminar.**

Las pruebas experimentales realizadas a los modelos físicos fueron llevadas a cabo siguiendo parámetros objetivos. Las pruebas de ruido se basaron en un análisis experimental del ruido del compresor (Fig. 3) y el subsiguiente cálculo del tipo de aislamiento requerido para este compresor. Ver detalles en los anexos A36 al A39. Las pruebas en modelos físicos permitieron verificar tanto los resultados de la modelación analítica como los posibles inconvenientes de cada componente. El desarrollo y los resultados del análisis de ingeniería a lo largo de las diferentes etapas se muestran con más detalle en el capítulo de análisis de ingeniería (capítulo cinco).

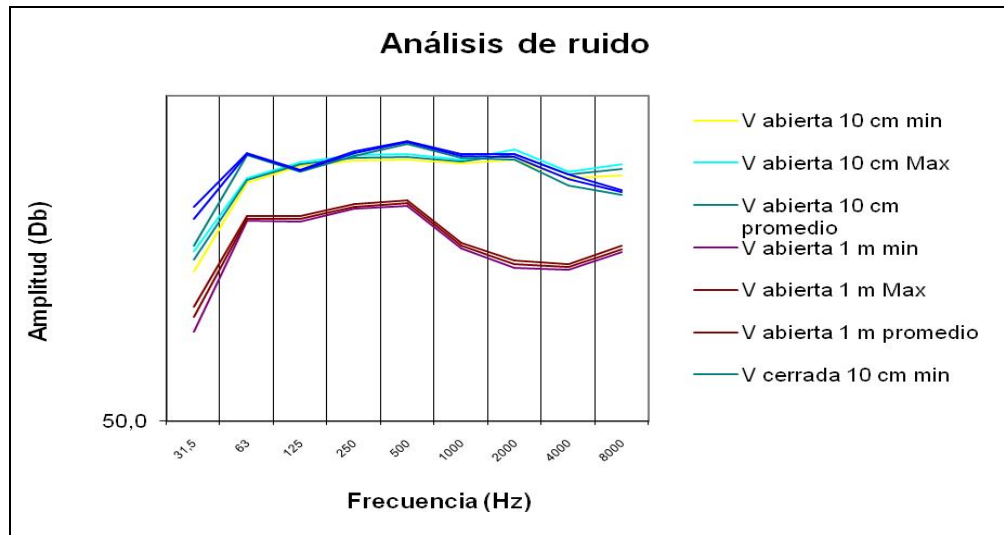


Fig. 3. Espectro de ruido del compresor PUMA MA 5700

- **Modelación tridimensional CAD.**

Tanto los análisis de ingeniería como el proceso de depuración formal/funcional tomaron como herramienta base la modelación tridimensional. Estos modelos se detallan en el anexo A45. La modelación tridimensional se desarrolló bajo la plataforma de diseño Solidworks y la aplicación de la metodología modelación multisólidos (Solidworks, 2006) que permite modelar cada componente del producto dentro de un mismo archivo para actualizarlo constantemente. Fig. 4.

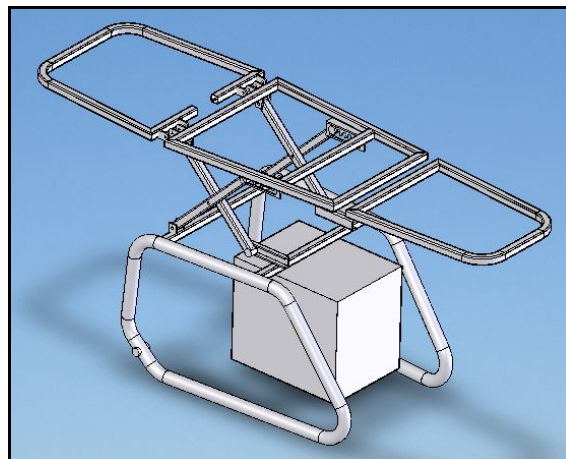


Fig. 4. Modelación tridimensional

### 2.3.3. Herramientas de revisión del concepto.

El proceso de diseño requiere de una constante reflexión sobre los resultados de cada etapa así como la negociación de las expectativas iniciales frente a las posibilidades técnicas y soluciones óptimas. Siguiendo este proceso iterativo, el modelo preliminar fue evaluado desde la especificación de diseño utilizando herramientas de comparación costo / beneficio con la valoración directa del cliente.

La verificación de la especificación y la valoración del costo / beneficio dieron lugar a la redefinición del concepto final mediante variaciones formales y funcionales así como de costos y enfoque de mercado. Ver anexo A47.

- **Valoración del cliente del costo / beneficio.**

Se preparó una lista de chequeo de los requerimientos más relevantes, en la cual se mostraron las características de los problemas y las soluciones a éstos implementadas en el modelo preliminar. Ver detalles de la lista en el anexo A46. De forma complementaria se preparó una lista de costos aproximados de cada grupo de soluciones y costo final estimado del producto frente al costo de otras unidades del mercado (matriz de comparación competitiva). Estas dos listas fueron presentadas al cliente para su valoración. Ver ejemplo en la tabla 2.

Tabla 2. Ejemplo de lista de chequeo costo / beneficio. Ver anexo A46.

<b>Beneficio, solución al problema.</b>	
7. La unidad permite el uso del eyector de saliva sin necesidad del pedal tal y como en las unidades fijas.	
Detalles del problema: Los usuarios consideran inconveniente tener que oprimir el pedal cada vez que requieran evacuar saliva. Correlación con el ruido.	
Portadores solución:	
<b>Sistema neumático aumentado.</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistema de control combinado. Un pedal eléctrico de retención para el encendido del compresor y un pedal neumático específicamente para el uso de las piezas de mano.</li><li>• Sistema de succión constante.</li></ul>	
<b>Costos</b>	
Compresor:	606.000
Carcasas y paneles plásticos	400.000
Sistema de iluminación	350.000
Gabinete de aislamiento:	193.000
<b>Sistema neumático aumentado</b>	<b>173.000</b>
Estructura base y ruedas	135.000
Estructura camilla	100.000
Recubrimientos en lona	100.000
Mecanismo de ajuste altura	82.000
<b>Costo total:</b>	<b>2'700.000</b>

## 2.4. ETAPAS FINALES

La fase final tuvo como punto de partida el establecimiento de la especificación de diseño de producto de forma definitiva (anexo A48) para dar lugar al abordaje del diseño de detalle y construcción del **prototipo alfa**, llamado así por ser el primer modelo de una serie de prototipos previos a la producción (Ulrich, Eppinger. 2004: p 260.) Al final del proceso, la especificación es retomada para su verificación frente al prototipo alfa. Esta verificación se determinó mediante un plan experimental que incluyó la prueba de usuario llevada a cabo en el contexto de la feria EXPODENTAL 2008.

### 2.4.1. Herramientas de Desarrollo y selección del modelo final.

A partir del concepto revisado y seleccionado en la etapa anterior, se retomó el proceso de generación, selección y evaluación de alternativas de portadores de función y diseño de detalle. Ver anexo A49. En esta etapa los modelos para la evaluación fueron realizados utilizando herramientas de software detallados en el anexo A50.

- **Análisis de ingeniería del modelo final.**

Con ayuda de software de modelación se realizaron análisis de ensamblajes e interferencia de diferentes dispositivos mecánicos así como el análisis de elementos finitos de algunos componentes particulares expuestos a cargas. Para la modelación y análisis de interferencias de mecanismos se utilizó el software SolidWorks. Para el análisis de elementos finitos se utilizó la herramienta asociada CosmosWorks. El capítulo de análisis de ingeniería (Capítulo cinco) muestra los resultados de estos análisis. Ver además anexos A51 y A52.

El esquema de trabajo para el desarrollo de los modelos fue a partir de los bloques constitutivos del producto: la base, el sillón, el modulo de bandeja y sistema de iluminación. Cada uno de éstos se desarrolló adentro-hacia-afuera, estableciendo primero los parámetros dimensionales de cada componente y su interacción: movimientos e interferencias. En los componentes diseñados de forma virtual se evaluó: facilidad de manufactura, posible costo y facilidad de ensamble. De no pasar dicha evaluación, se procedía a generar una nueva alternativa del componente.

En los componentes críticos del producto se desarrolló un modelo de evaluación por elementos finitos con el fin de chequear las deformaciones del componente. Ver Fig. 5.

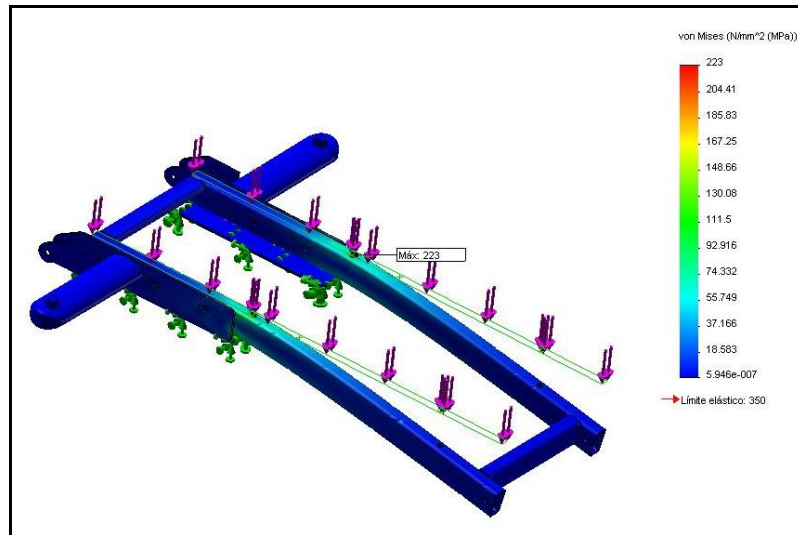


Fig. 5. Ejemplo resultados de análisis de elementos finitos.

- **Depuración gráfica y semántica.**

A partir de la búsqueda de referentes y lenguaje de producto (anexo A22) se desarrolló la imagen final del modelo. Para esto, se realizaron renders del modelo tridimensional con la ayuda del modelador Rhinoceros y programa de formalización V-ray (anexo A53), explorando diferentes posibilidades.

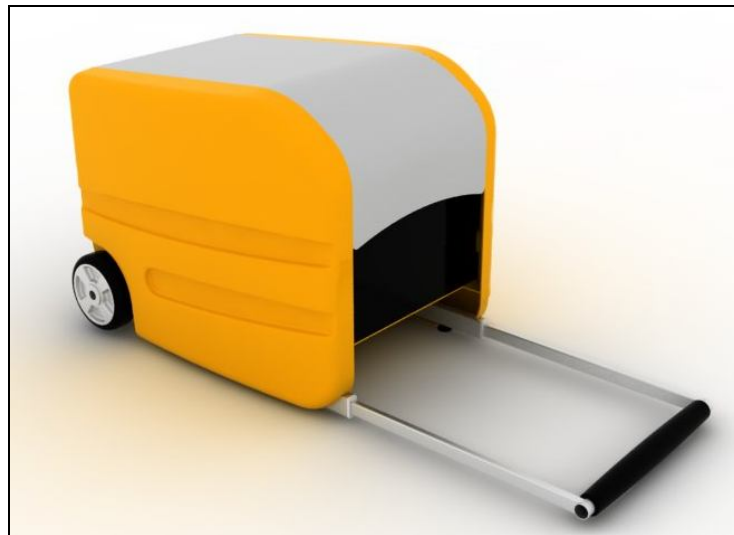


Fig. 6. Render alternativo del modelo final.

#### 2.4.2. Herramientas de planeación y construcción del modelo funcional.

El plan de construcción se comenzó a elaborar siguiendo el método de determinación de la ruta crítica (Ulrich y Eppinger, 2004: 336) desarrollada en el anexo A54. Este método implica el establecimiento previo de una lista de actividades, tiempos de ejecución y la formulación de la relación entre éstas. Las actividades se ordenaron según fueran secuenciales, paralelas o complementarias y sus tiempos de ejecución se obtuvieron por medio de cotizaciones y consulta con los proveedores y fabricantes. La ruta crítica correspondió mayormente a la secuencia de fabricación de moldes de MDF y vaciado de compuesto de fibra de vidrio en matriz de poliéster. Una de las principales herramientas utilizadas en esta secuencia de fabricación consistió en la manufactura asistida por computador, CAM.

El plan de construcción incluye además la elaboración del libro de planos (anexo A59) y la lista detallada de partes (anexo A57), la cual comprende la descripción de la pieza, cantidades, materiales, procesos y proveedores así como la tabla de costos (anexo A58). El proceso de fabricación se describe en el anexo A56.

- **Elaboración de moldes.**

El desarrollo de los moldes partió desde la modelación tridimensional donde, haciendo uso de las herramientas de molde del programa solidworks, se sacaron las partes negativas de las carcasas. Con el archivo digital se procedió a generar en un sistema CAM los códigos G de manufactura los cuales se llevaron a las diferentes maquinas CNC en las que se fabricaron los moldes.

Por las características del proceso de moldeo abierto manual para fibra de vidrio y por tratarse de un prototipo, el material seleccionado para la fabricación de los moldes fue el aglomerado de MDF. Se realizaron moldes en máquinas de control numérico computarizado CNC. Ver anexo A55 y Fig. 7. Estas herramientas fueron implementadas en la elaboración de moldes debido a la necesidad de producir geometrías complejas y precisas en el vaciado de compuesto de fibra de vidrio y resina de poliéster.



Fig. 7. Máquina CNC y molde. Ver anexo A56

### 2.4.3. Herramientas de verificación del modelo funcional.

El resultado del proceso de diseño fue la comprobación del grado de satisfacción de la especificación de diseño en tanto ésta tradujo las expectativas tanto del cliente como del equipo de diseño y especialmente el usuario. La verificación se realizó mediante dos herramientas muy diferentes pero complementarias. Por un lado, la comprobación por medios científicos del cumplimiento de los requerimientos posibles de medir por métodos objetivos. Por otro lado, la recepción de información cualitativa de parte de los usuarios por medio de la exposición del prototipo a un conjunto abierto de usuarios.

- **EXPODENTAL 2008 – Prueba de usuario.**

La prueba con usuarios se realizó en el marco de EXPODENTAL 2008 en Medellín entre el 18 y 21 de septiembre. Allí, el equipo de diseño contó con un stand facilitado por el cliente para la exhibición y demostración permanente del prototipo alfa. Fig. 8. Los visitantes, más de 5000 entre odontólogos y comercializadores de productos, tuvieron la oportunidad de observar los atributos formales y funcionales del modelo y fueron animados realizar comentarios de forma libre con el fin de recopilar la mayor cantidad posible de información cualitativa siguiendo los principios de la observación participante. La información fue capturada en una lista de verbatim y luego analizada de forma que se pudiera contrastar con los requerimientos dispuestos para la aprobación subjetiva del usuario. Ver anexo A63.

Si bien, debido a la característica no estructurada de la prueba no se pudieron verificar los requerimientos con grados de precisión cuantitativa, la riqueza de la información dada en un contexto comercial de feria sirvió para capturar los elementos esenciales intangibles de la interacción del modelo de diseño con los potenciales compradores y usuarios.



Fig. 8. Disposición del stand y modelo durante EXPODENTAL 2008.

- **Ensayos y pruebas.**

El alcance del proyecto estableció la construcción de un modelo funcional apto para la verificación por ensayos no destructivos. En consecuencia, el modelo fue fabricado con la pretensión de garantizar atributos funcionales tales como la calidad de la iluminación, la presión de servicio, etc. Sin embargo, otras características atribuibles a este producto como la resistencia a la fatiga, a la degradación química o a la cristalización de componentes no pueden ser garantizadas en el modelo. En el cuadro 13 a continuación se enuncian las pruebas realizadas descritas en el anexo A64. El análisis del ruido se encuentra en el anexo A65.

Cuadro 13. Pruebas realizadas por medios científicos.

Prueba	Comprobación
Sonometría	Nivel de ruido emitido
Cronometría	Tiempos de operaciones
Fotometría	Iluminancia
Manometría	Presión de servicio
Termometría	Temperatura de superficies
Otras, metrología	Dimensiones, geometría y peso

- **Calificación de la efectividad del diseño final.**

Con los resultados de los de ensayos y prueba de usuarios se pudo completar la lista de verificación de la especificación de diseño y obtener el puntaje total y el porcentaje de efectividad del diseño. Ver tabla en el anexo A2. Para este puntaje, se contrastaron los resultados de cada prueba con la lista de medidas asociada a la especificación.

Cada medida cuenta con un valor marginal (valores mínimos tolerables) y un valor ideal. Los resultados con valores de tipo marginal fueron calificados con un coeficiente de tres (60%), los resultados ideales con un valor de cinco (100%) y los resultados insuficientes con un valor nulo. Para obtener el puntaje de aprobación de cada requerimiento, el valor asignado (cero, tres o cinco) se multiplicó por el valor de importancia relativa de cada requerimiento.

El porcentaje de efectividad del diseño se obtuvo a partir de la relación puntaje ideal y puntaje logrado. De igual forma se obtuvo un porcentaje de efectividad sobre el mínimo puntaje marginal total.

Capítulo 3

# Especificación de diseño de producto.

### 3. ESPECIFICACIÓN DE DISEÑO DE PRODUCTO

La especificación de diseño de producto es tanto un mapa que guía las decisiones de diseño llevadas a cabo durante el desarrollo del proyecto como la respuesta a la pregunta sobre el *qué* del producto. Si bien su construcción no fue el resultado de un proceso lineal, se pueden delimitar los elementos preliminares que constituyen las bases estables para su generación. Una vez apuntalada en sus bases, la especificación de diseño de producto fue refinada en un proceso iterativo de retroalimentación desde el desarrollo del diseño del producto. Ver anexos A24 y A47 sobre el proceso de generación de la especificación de diseño de producto.

#### 3.1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA - ELEMENTOS PRELIMINARES PARA LA ESPECIFICACIÓN DE DISEÑO

El análisis del problema es el resultado de las etapas iniciales del proyecto. Ver cuadro 14 con etapas iniciales. Los elementos hallados en este análisis determinan las bases del conocimiento de las necesidades del usuario y las características de la oferta.

Cuadro 14. Etapas iniciales y resultados.

Etapa	Actividades y Herramientas utilizadas			Resultados obtenidos	Generación de la especificación de diseño de producto
Investigación de usuarios	Análisis del alcance			Límites funcionales	
	Exploración preliminar	Verificación de actitudes y percepciones	Definición de hipótesis con usuarios	Lista de necesidades	
Comparación competitiva	Análisis primario de la oferta nacional			+ Mapa de atributos Matriz de comparación competitiva nacional	
	Información secundaria de la oferta nacional				
	Análisis del producto del cliente			Matriz de comparación competitiva extranjera	
	Información secundaria de la oferta extranjera				
Estándares	Recopilación de normas y catálogos			Lista preliminar de requerimientos	
	Análisis de bibliografía de referencia				

##### 3.1.1. Límites del problema – Declaración de los límites funcionales.

A partir de la demanda básica del cliente, los objetivos y el alcance del proyecto, se establecieron algunos límites al sistema funcional del producto determinantes en la clarificación del problema (anexos A25 y A26) Estos límites funcionales se expresan por medio de las siguientes declaraciones en forma de preconceptos funcionales.

- El producto está diseñado para permitir únicamente los procedimientos de la operatoria odontológica básica.
- El producto es diseñado para el trabajo de un solo operario, practicante de odontología u odontólogo.
- La unidad provee aire y agua a presión para piezas de mano estándar no incluidas en el producto.
- La presión de aire para las piezas de mano es generada por un compresor estándar incluido en el producto.
- Cada unidad cuenta con un compresor de aire que la hace independiente de otras unidades portátiles u otros equipos.
- El producto requiere de un suministro externo y constante de energía para su funcionamiento. De igual forma requiere el aprovisionamiento de agua apta para el consumo humano y aire ambiental limpio.
- Los desechos generados durante la operación odontológica son recolectados por la unidad de forma temporal. Su procesamiento y disposición final son responsabilidad del operario y están por fuera del alcance funcional del producto.
- El producto no es autopropulsado. Para su desplazamiento, éste es manipulado, dirigido y propulsado por uno o varios operarios. El producto no permite el enganche a vehículos de transporte rápido a manera de carretilla.

### 3.1.2. Identificación de necesidades del usuario.

De la investigación de usuario llevada a cabo se logró extraer, clasificar y ponderar un grupo amplio de necesidades respecto de las unidades portátiles. Estas necesidades se condensan a continuación en la tabla 3 la cual se encuentra completa en el anexo A17.

Tabla 3. Lista de necesidades (nivel de importancia cuatro y cinco) interpretadas a partir de la investigación de usuarios.

Lista de necesidades interpretadas a partir de las encuestas a odontólogos.	Importancia
La unidad odontológica portátil (UOP) emite un nivel de ruido que no resulta irritante o fatigante.	5
La UOP tiene contenedores de desechos líquidos fáciles de liberar en el cambio normal.	5
La UOP es estable incluso con movimientos inesperados del paciente así como ante diferentes tallas de pacientes como niños, obesos, etc.	5
La UOP tiene un eyector de saliva que funciona sin necesidad de una señal de operación constante por parte del odontólogo.	5
La UOP tiene una bandeja con mejor alcance y posicionamiento.	4
La UOP tiene mangueras y cables eléctricos que permanecen libres y sin enredos.	4
La UOP tiene recipientes de agua fáciles de desmontar para el cambio normal.	4
La UOP tiene una jeringa triple que funciona sin necesidad de una señal de operación constante por parte del odontólogo, tal como en las unidades fijas.	4

Continuación tabla 3

Lista de necesidades interpretadas a partir de las encuestas de tenencia y mantenimiento.	Importancia
<b>Autonomía:</b> la instalación de las UOP así como el reemplazo y reparaciones in situ o "primeros auxilios" por parte de los odontólogos o practicantes se realiza sin ayuda de personal extra. Igualmente se refiere a que la UOP se conserve libre de daños en el momento de su salida y uso en sitios remotos.	
La UOP permite una fácil reparación, por parte del odontólogo y practicante, de desajustes causados durante su uso en sitios remotos.	5
La UOP provee información clara sobre su uso, mantenimiento de emergencia e instalación a los odontólogos y practicantes.	4
La UOP tiene una camilla fácil de instalar y armar para su uso.	4
La UOP tiene componentes que permanecen ajustados en su sitio aún ante golpes y movimientos bruscos durante el transporte.	4
La UOP conserva sus componentes libres de daños por estrés mecánico durante el transporte y almacenamiento.	4
<b>Fácil mantenimiento y prevención de daños.</b>	
La UOP permite el fácil y rápido desensamble de sus componentes para reparaciones.	5
La UOP tiene componentes baratos y fáciles de conseguir para su reemplazo.	4
La UOP tiene contactos eléctricos que se conservan sin rupturas o desprendimientos.	4
La UOP permite una adecuada disipación del calor del compresor durante el uso.	4
<b>Fácil transporte.</b>	
La UOP se transporta manipulado por una sola persona.	5
La UOP puede ser transportada en vehículos pequeños.	4
La UOP tiene un tamaño que facilita el transporte.	4
<b>Otras necesidades.</b>	
La UOP tiene garantía de hasta un año.	4
La UOP puede durar hasta cinco años en condiciones normales de uso.	4

### 3.1.3 Análisis competitivo - comparativo con la oferta nacional y extranjera.

Los elementos de este análisis corresponden a una exploración de la situación del producto existente frente a la competencia revelando de esta forma fortalezas, debilidades y oportunidades de rediseño exitoso.

- **Mapa de atributos del producto existente vs. Productos representativos nacionales.**

El propósito de este mapa consistió en determinar la posición del producto existente frente a los principales competidores en el mercado nacional en términos de sus atributos positivos, negativos y neutros (MacMillan y MacGrath, 2000: 23-47). Ésta es además una herramienta sencilla pero importante en el proceso de rediseño de productos existentes pues permitió identificar con claridad oportunidades de cambios en las características del producto actualmente ofertado frente a las características de la competencia y la actitud del consumidor frente a éstas. El mapa se muestra en la Tabla 4.

Definición de los productos competidores. Se tomaron tres modelos diferentes predominantes en el mercado nacional. Ver cuadro 15.

Cuadro 15. Modelos de unidades portátiles nacionales.

Modelo Trophy de Unident Ltda.	
<p>Es el modelo más comercializado tanto por la empresa Unident como por otras empresas que han copiado su diseño. El diseño de la camilla es simple y es prácticamente un estándar de facto en el país. Este producto es además el más exportado, llegando a países en toda la región.</p>	
Modelo Voyager 2 de Myllan Products Ltda.	
<p>Este modelo es una mejora significativa al modelo Trophy. Es más amigable y de aspecto más moderno. Es un modelo de exportación.</p>	

Continuación Cuadro 15.

Modelo portátil de Audencol S.A.	
<p>Este producto presenta características funcionales superiores al resto, sin embargo su precio elevado lo hacen poco competitivo en el campo de los equipos simplificados. Está enfocado hacia un mercado de uso más urbano.</p>	

Tabla 4. Lista de atributos evaluados más relevantes.

Atributos Positivos-Básicos. "No negociables": Hacен que el producto se desempeñe al menos igual de bien que el de la competencia.
<p>Resistencia de hasta 150 Kg. de carga en la camilla.                      Bandeja metálica fácilmente removible para esterilización en autoclave. (Excepto modelo Audencol)                      Camilla con relleno de espuma para comodidad del paciente.                      Mecanismo de ajuste rápido del espaldar de la camilla.                      Tuercas y acoples borden importados de alta calidad.                      Sistema de eyector de saliva. (El modelo de Audencol no tiene)</p>
Atributos Negativos-Básicos. "Tolerables": Atributos que al menos no son peores que los de los productos competidores.
<p>Precio promedio. (El modelo de Audencol es de mayor precio)                      Dificultad para cargar por una sola persona debido al peso y forma.                      Silla del odontólogo sin espaldar.                      Ruedas / rodachinas plásticas pequeñas.                      Eyector de saliva de funcionamiento intermitente.                      Dificultad para instalar la camilla.                      No se adapta a suelos irregulares e Inestabilidad de la camilla.                      Los holders están desprotegidos por fuera de la caja*                      El material rugoso, poco aséptico de la camilla*                      Compresor ruidoso *                      Pedal de máquina eléctrica*                      Iluminación de regular calidad*                      Jeringa triple dependiente del pedal*                      Poca disipación del calor generado por el compresor*                      Caja plástica susceptible a fracturas y daños en los cerrojos*</p>
<p>*Atributos mejorados en el modelo de Audencol.</p>

Continuación Tabla 4.

<p><b>Atributos Positivos-Discriminantes. "Diferenciadores":</b> Hacen que el producto se desempeñe mejor, en un aspecto determinado.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Holders automáticos.</li> <li>Cuerpo de la lámpara menos susceptible de irradiar calor.</li> <li>Uso de botellas recicladas y facilidad para cambio de éstas.</li> <li>La bandeja de instrumental está por encima del plano horizontal de la camilla.</li> </ul>
<p><b>Atributos Negativos-Discriminantes. "In satisfactores":</b> Atributos cuyo desempeño está por debajo del de los competidores.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Caja plástica antiestética.</li> <li>Contenedor voluminoso y con ángulos agudos.</li> <li>Procedimiento engorroso para sacar la camilla del contenedor.</li> <li>Presión de salida inferior a 40 PSI.</li> <li>Ausencia de manual de instrucciones y elementos comunicativos.</li> <li>Las mangueras de las piezas de mano se enredan dentro del módulo, desajustando el sistema neumático.</li> <li>Botellas de residuos transparentes.</li> </ul>
<p><b>Atributos Neutrales-Básicos. "Y que":</b> Atributos que no son significativos en la decisión de compra.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Manómetro fácilmente visible para el usuario.</li> <li>7 alturas de camilla en lugar de 4.</li> </ul>
<p><b>Atributos Neutrales-Discriminantes. "Paralelos":</b> Atributos que influyen las actitudes hacia el producto pero no afectan el desempeño de éste.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Apoyabrazos</li> <li>Ausencia de acople para cavitron.</li> <li>Bandeja sin divisiones para el instrumental.</li> <li>Una sola intensidad de luz.</li> </ul>
<p><b>Atributos Positivos-Enfáticos. "Excitantes":</b> Atributos que hacen que el producto sea superior a la competencia.</p>
<p><b>Atributos Negativos-Enfáticos. "Irritantes":</b> Atributos inferiores que deben ser corregidos a cualquier costo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Poca confiabilidad del sistema neumático</li> </ul>

### 3.1.4. Matrices de comparación competitiva.

La tabla 5 a continuación muestra una comparación del producto existente con productos seleccionados de la oferta extranjera y de la oferta nacional. El anexo A20 agrupa unidades odontológicas portátiles tomadas como referencia para esta matriz.

Tabla 5. Comparación con productos competidores (extranjeros).

Modelo:		New Stetic	Dentronic	Portable II	Proquest I	Procart II	Dentacenter
Característica.	Unidad						
Módulo dental	-	si	si	si	si	si	Si
Sillón dental	-	si	si	no	no	no	No
Bandeja	-	si	si	si	no	no	Si
Lámpara	-	si	si	no	no	no	No
Butaca operario	-	si	si	no	no	no	No
Compresor	Tipo	Oil less	si	si	Sistema eléctrico	si	Si
Acumulador	-	no	-	si	no	si	Si
Generador de succión	Tipo	Venturi	Motor (bomba)	Motor	Motor	Motor	Motor
Apagado automático. Vacío.	-	No	-	Si	si	si	Si
Precio	U\$	900	NA	7.998	4.298	4.898	5.100
Potencia del compresor	HP	1	-	-	-	1/3	-
Presión nominal	psi	125	-	115	-	100	100
Caudal volumétrico	cfm	4	-	1.8	-	2.5	2.3
Capacidad de acumulador	Litro	-	-	9.5	-	4	2.5
Potencia generador de vacío	hp	-	-	-	1/3	1/3	-
Vacío	inHg	-	-	5-15	0-21	0-21	-
Caudal de succión	cfm	<1	>8.8	4.5	4.6	4.6	2.6
Recipiente de desechos	Litro	1	-	1.2	1.2	4	1
Nivel de ruido a 1 metro.	Nivel de presión sonora. dB SPL	80	-	-	46	48	44
Iluminancia	lux	-	11.000	-	-	-	-
Flujo luminoso	lumen	-	-	-	-	-	-
<b>Peso</b>	<b>kg</b>	<b>36</b>	<b>68</b>	<b>62</b>	<b>19</b>	<b>50</b>	<b>30</b>
Dimensión máxima	cm	90	-	96	55	86	74

Continuación Tabla 5. Comparación con productos competidores (nacionales)

Modelo:		New Stetic	Audencol	Voyager II	Trophy	Trooper
Característica.	Unidad de medida.					
Módulo dental	-	si	Si	Si	Si	si
Sillón dental	-	si	Si	Si	Si	si
Bandeja	-	si	Si	Si	Si	si
Lámpara	-	si	Si	Si	Si	si
Butaca operario	-	si	Si	Si	Si	si
Compresor	Tipo	Oil less	Si	Oil less	Oil less	si
Acumulador	-	no	Si	No	No	no
Generador de succión	Tipo	Venturi	No	Venturi	Venturi	Venturi
Apagado automático. Vacío.	-	No	No	No	No	no
Precio	COP\$	2'200.000	4'240.000	2'470.000	2'307.000	2'300.000
Potencia del compresor	HP	1	1	1	1	1
Presión nominal	psi	125	>60	>40	>40	125
Caudal volumétrico	cfm	4	-	-	4	4
Caudal de succión	cfm	<1	-	-	-	-
Recipiente de desechos	Litro	1	-	-	-	-
Nivel de ruido a 1 metro.	Nivel de presión sonora. dB SPL	80	-	60	-	-
Iluminancia	lux	-	>8000	-	-	-
<b>Peso</b>	<b>kg</b>	<b>36</b>	<b>60</b>	<b>40</b>	-	-
Dimensión máxima	cm	90	-	-	-	-

### 3.2. LISTA DE ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE PRODUCTO

La lista final es el resultado del refinamiento de la especificación objeto en las etapas intermedias del proyecto, particularmente como resultado de la prueba de concepto con usuarios (anexos A29 al A33) y la revisión del concepto con el cliente (anexo A46). En el cuadro 16 se muestran las etapas en las que se redefinió la especificación y de las cuales se hace referencia con más claridad en el capítulo de generación de alternativas (capítulo cuatro). La tabla completa de la especificación de diseño de producto se encuentra en el anexo A48.

Cuadro 16. Etapas intermedias y la especificación final.

Etapa	Actividades y Herramientas utilizadas			Resultados obtenidos	
Definición concepto	Clarificación del problema			Árbol de funciones	
	Exploración conceptual	Asesoría externa	Síntesis conceptual	3 Alternativas preliminares	
	Prueba de concepto con usuarios			Selección del concepto de diseño	
Modelo preliminar	Desarrollo formal y arquitectura			Modelo preliminar	
	Análisis de ingeniería (A.I.): Experimentación				
	A.I.: Procesos / costos				
	A.I.: Modelaciones virtuales				
Revisión concepto	Verificación de cumplimiento de la especificación de diseño	Revisión con el cliente	Variación del concepto	Selección del concepto final	

Refinamiento de la especificación de diseño de producto

Las tablas 6 a 14 muestran los requerimientos finales ordenados según el componente particular de la unidad odontológica portátil.

Tabla 6. Requerimientos generales

Componente:		General		
Requerimiento	Medida	Unid	V. Marginal	V. Ideal
Tiene un costo de producción competitivo	Costo de producción	US\$	<2000	<1000
Se fabrica con procesos de bajo costo a pequeña escala	Costo mano de obra	COP\$/hora	<50000	<30000
Protege al paciente de las piezas móviles	Prueba NTC 2256	Binario	Pasa	Pasa
Se transporta manipulado por una sola persona.	Peso total	Kg	<45	15 - 25
Permite el fácil y rápido desensamble de sus componentes para reparaciones.	Cantidad de htas necesarias	list	<5	<4
Es fácil de manufacturar	Procesos complejos	list	<5	1
Permite producción a pequeña escala	Cantidad rentable de unids	unid/año	>100	>50
Reduce la probabilidad de infecciones cruzadas	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Dura hasta cinco años en condiciones normales de uso.	Periodo de reemplazo	hora	4000	50000
Permite el trabajo en diferentes posiciones	Prueba NTC 2256	Binario	Pasa	Pasa
Cumple la norma técnica	NTC consultadas	List	2	Todas

Continuación Tabla 6.

Componente:		General		
Requerimiento	Medida	Unid	V. Marginal	V. Ideal
Tiene componentes que permanecen ajustados en su sitio aún ante golpes y movimientos bruscos durante el transporte.	Tiempo de instalación	min	<10	2
Tiene una apariencia resistente, todo terreno.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Tiene colores que lo diferencian de la competencia.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Impide la transmisión vibraciones incómodas desde el compresor hacia el paciente y los instrumentos.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Conserva sus componentes libres de daños por estrés mecánico durante el transporte y almacenamiento.	Carga máxima ejercida	N	<300	0
Protege al usuario y paciente del contacto con superficies calientes.	Temperatura en superficies	°C	<46	<40
Tiene componentes baratos y fáciles de conseguir para su reemplazo.	Costo mano de obra	COP\$/hora	<50000	<30000
Tiene contactos eléctricos que se conservan sin rupturas o desprendimientos.	Periodo de reemplazo	hora	4000	50000
Tiene un tamaño que permite su acceso por cualquier puerta.	Dimensiones L x W x H	mm	900 x 600 x 600	600 x 600 x 500
Se respalda en el conocimiento de la competencia	Productos analizados	num	3	>5
Se fabrica con recursos locales	Tiempo de entrega	día	<30	<15
Facilita el reemplazo de componentes en sitios remotos.	Cantidad de hts necesarias	list	<2	0
Proyecta una apariencia limpia y tecnológica	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Impide la obstrucción del funcionamiento por la acción de insectos y plagas.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Permite pruebas no destructivas repetitivas	Cantidad de pruebas	num	4 a 5	>5
No incluye materiales y revestimientos contaminantes como metales pesados, asbesto, PVC, galvanizados, pinturas con CFC, etc.	Cantidad de materiales	num	<2	0

Tabla 7. Requerimientos del sillón.

Componente:		Sillón		
Requerimiento	Medida	Unid	V. Marginal	V. Ideal
Resiste el peso del paciente	Carga	Kg	110	150
Es estable incluso con movimientos inesperados del paciente así como ante diferentes tallas de pacientes como niños, obesos, etc.	Prueba NTC 2256	Binario	Pasa	Pasa
Es fácil de instalar y armar para su uso.	Tiempo de instalación	min	<5	<3
Permite una fácil modificación de la altura de la camilla.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Tiene superficies en contacto con el paciente que son lisas e impermeables.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Permite ser ubicado sobre terrenos irregulares de forma estable.	Estabilidad con inclinación	grado	3	5
Permanece la superficie con su volumen y forma inicial aún después de mucho uso.	Prueba NTC 2256	Binario	Pasa	Pasa
Es cómodo para el paciente	Dim del sillón L x W	mm	1720 x 450	1930 x 660
Resiste el rasgado y rayones causados por elementos corto punzantes.	Dureza Rockwell R	adim	80 - 110	>120
Tiene uniones o empates en las superficies en contacto con contaminantes que permanecen impermeables aún después de mucho uso.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5

Tabla 8. Requerimientos del contenedor.

Componente:		Contenedor		
Requerimiento	Medida	Unid	V. Marginal	V. Ideal
Tiene un tamaño que facilita el transporte.	Dimensiones L x W x H	mm	900 x 600 x 600	600 x 600 x 500
Permite ser transportado en vehículos pequeños.	Dimensiones L x W x H	mm	900 x 600 x 600	600 x 600 x 500
Permite rodarlo por terreno irregular.	Tamaño de las ruedas	pulgada	5	6
Puede ser asegurado con cuerdas y correas para su transporte.	Carga máxima ejercida	N	<400	400 - 600
Tiene ruedas que permanecen sin daños aún después de mucho uso.	Tamaño de las ruedas	pulgada	5	6

Tabla 9. Requerimientos de la bandeja de instrumentos.

Componente:		Bandeja de instrumentos		
Requerimiento	Medida	Unid	V. Marginal	V. Ideal
Es esterilizable en autoclave	Temperatura de servicio (pico)	°C	>135	170 - 200
Permite un mejor alcance y posicionamiento.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Fácil de remover	Cantidad de hts necesarias	list	<2	0
Tiene piezas y uniones que no se desprenden por fatiga.	Prueba NTC 2256	Binario	Pasa	Pasa
Permite acomodar con espacio suficiente los instrumentos.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5

Tabla 10. Requerimientos de la butaca.

Componente:		Butaca		
Requerimiento	Medida	Unid	V. Marginal	V. Ideal
Es cómoda para el operario	Prueba NTC 2283	Binario	Pasa	Pasa

Tabla 11. Requerimientos de la iluminación.

Componente:		Iluminación		
Requerimiento	Medida	Unid	V. Marginal	V. Ideal
Tiene luz con una intensidad equiparable al de una unidad fija.	Iluminancia	lux	>8000	9700 - 20000
Emite un nivel de calor por radiación que no representa incomodidad o riesgo para el odontólogo.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Permite el fácil posicionamiento del haz luminoso.	Desplazamiento X, Y, Z	mm	400 x 400 x 400	600 x 600 x 600
Tiene un área o campo iluminado de toda la cavidad.	Área elíptica iluminada (ejes)	mm	<200 x 100	50 x 25
Permanece en la posición deseada.	Prueba ISO 9680	Binario	Pasa	Pasa
Emite luz de color blanco día.	Temperatura de color	°K	>3000	5500
Permite iluminar desde ángulos difíciles de alcanzar.	Desplazamiento X, Y, Z	mm	400 x 400 x 400	600 x 600 x 600

Tabla 12. Requerimientos del manual de usuario.

Componente:		Manual de usuario		
Requerimiento	Medida	Unid	V. Marginal	V. Ideal
Provee información clara sobre su uso, mantenimiento de emergencia e instalación a los odontólogos y practicantes.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5

Tabla 13. Requerimientos de la unidad / módulo neumático.

Componente:		Unidad / módulo neumático		
Requerimiento	Medida	Unid	V. Marginal	V. Ideal
Emite un nivel de ruido que no resulta irritante o fatigante.	Nivel de ruido	dB-A	<60 - 70	<55
Permite una fácil reparación, por parte del odontólogo y practicante, de desajustes causados durante su uso en sitios remotos.	Cantidad de hts necesarias	list	<2	0
Provee una alimentación correcta a las piezas de mano	Presión de aire	psi	>30	33 - 58
Permite una adecuada disipación del calor del compresor durante el uso.	Caudal de alimentación	L/min	112	120
Tiene recipientes de agua fáciles de desmontar para el cambio normal.	Tiempo de instalación	s	<50	<30
Tiene mangueras y cables eléctricos que permanecen libres y sin enredos.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Tiene una jeringa triple que funciona sin necesidad de una señal de operación constante por parte del odontólogo, tal como en las unidades fijas.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Tiene componentes estándar como la jeringa triple y el pedal, de calidad comparable con la de una unidad fija.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Tiene roscas que no se deforman o generan pérdidas de presión aún después de mucho uso.	Periodo de reemplazo	hora	4000	50000
Tiene un pedal que permanece en su posición y es cómodo de usar.	Dimensiones L x W x H	mm	100 x 60 x 30	100 x 100 x 30

Tabla 14. Requerimientos del sistema de succión.

Componente:		Sistema de succión		
Requerimiento	Medida	Unid	V. Marginal	V. Ideal
Tiene un eyector de saliva que funciona sin necesidad de una señal de operación constante por parte del odontólogo.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Tiene contenedores de desechos líquidos fáciles de liberar en el cambio normal.	Tiempo de instalación	s	<50	<30
Impide el retroceso de fluidos	Ángulo de caída	grado	>30	70 - 90
Permite una rápida succión de los fluidos de la boca	Caudal volumétrico. Fluidos	L/min.	>0,5	0,5 - 5
Proveer un eyector de funcionamiento continuo	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Permite una ágil comprobación de su funcionamiento.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Tiene un eyector fácil de instalar y comprobar su funcionamiento.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Tiene contenedores de desechos que impiden ver su contenido de forma desagradable.	Nivel de aprobación	Subj	>3	5
Tiene contenedores de agua y desechos fáciles de desenroscar	Nivel de aprobación	Subj	>3	5

Capítulo 4

# Generación y evaluación de alternativas.

## 4. GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

El proceso que dio lugar al modelo final se caracterizó por ser un proceso iterativo y cíclico. La generación y evaluación de alternativas de diseño comprende las etapas intermedias simultáneas al refinamiento de la especificación de diseño y la etapa de formulación del modelo final a partir de las especificaciones finales. Ver cuadro 17 a continuación.

Cuadro 17. Etapas de la generación y evaluación de alternativas de diseño.

Etapa	Actividades y Herramientas utilizadas			Resultados obtenidos
Definición concepto	Clarificación del problema			Árbol de funciones
	Exploración conceptual	Asesoría externa	Síntesis conceptual	<b>3 Alternativas preliminares</b>
	Prueba de concepto con usuarios			<b>Selección del concepto de diseño</b>
Modelo preliminar	Desarrollo formal y arquitectura			<b>Modelo preliminar</b>
	Análisis de ingeniería (A.I.): Experimentación			
	A.I.: Procesos / costos			
	A.I.: Modelaciones virtuales			
Revisión concepto	Verificación de cumplimiento de la especificación de diseño	Revisión con el cliente	Variación del concepto	<b>Selección del concepto final</b>
Modelo final	Desarrollo formal y arquitectura		Producción gráfica	<b>Modelo final</b>
	Análisis de ingeniería A.I.: modelos DFA			
	A.I.: modelos mecánicos			
	A.I.: modelos elementos finitos			

Refinamiento de la especificación de diseño de producto

### 4.1. DEFINICIÓN DE TRES ALTERNATIVAS PRELIMINARES

El proceso de búsqueda externa, exploración creativa y síntesis conceptual (anexo A28) dio paso a tres modelos preliminares cada uno de los cuales expresa una serie de principios formales particulares. Simultáneamente se generaron dos principios de funcionamiento para el sistema neumático intercambiables para cada una de las alternativas.

#### 4.1.1. Descripción de la alternativa A.

El diseño de esta propuesta se enfocó específicamente en la disminución de volumen total en el momento de llevar la unidad.

Consta de dos partes separadas: el sillón y el módulo de servicio tipo *cart*, el cual aloja todo el sistema funcional y la bandeja.

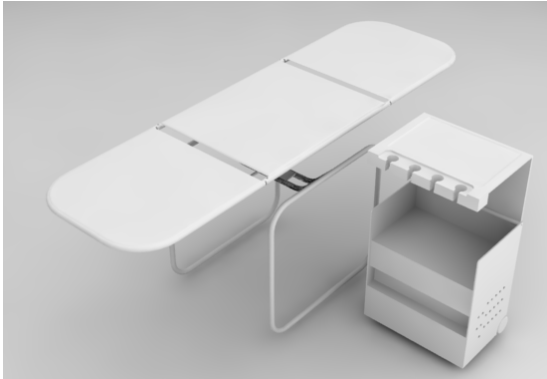


Fig. 9. Disposición general de la alternativa A.

- **Cart.** Consiste en un elemento independiente el cual contiene el compresor dentro de una cámara de aislamiento acústico y térmico. Para su operación, la cara superior del *cart* se abre hacia un lado permitiendo el despliegue de la bandeja y los holders. Dentro del *cart* se ubican tanto la botella de agua como la de residuos. El *cart* cuenta con un juego de ruedas que permiten la fácil ubicación durante la operación.

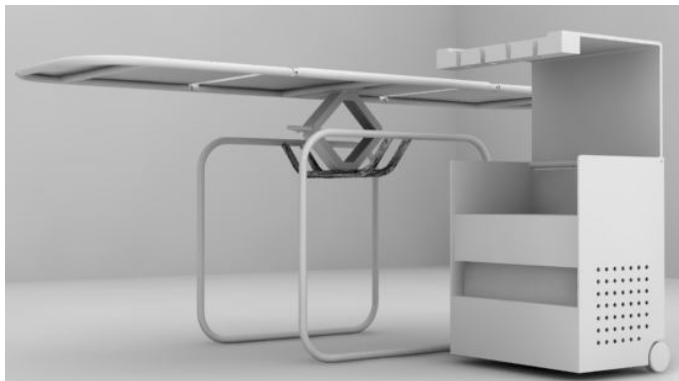


Fig. 10. Detalles de elementos de la alternativa A.

- **Sillón.** La superficie del sillón es de polímero termo formado con acabado liso para garantizar la asepsia. Para graduar la altura se utiliza un dispositivo de tornillo accionado por una manivela (gato mecánico) lo que permite que la altura se regule aún con el paciente sobre el sillón.

- **Iluminación.** Se utiliza una lámpara de LEDs montada sobre una diadema para llevar en la cabeza. Esta lámpara no emite calor excesivo y puede funcionar con baterías pequeñas. La mayor ventaja de esta lámpara frente a otras de uso similar, es su bajo volumen y peso.



Fig. 11. Plegado de la alternativa A.

- **Instalación y transporte.** Para llevar la unidad una vez finalizada la operación, se procede a plegar las partes móviles del sillón (el espaldar y el respaldo para los pies), luego se gira el sillón y se ensambla el cart cerrado dentro la base del sillón. Esta base sirve luego de marco estructural para llevar todo el equipo. Las ruedas del cart se utilizan además para llevar toda la unidad plegada.
- **Butaca.** Plegable sin espaldar.

#### 4.1.2. Descripción de la alternativa B

Modelo compacto en donde todas las piezas se despliegan desde un sólo cuerpo principal.

- **Sillón.** La base del sillón sirve como contenedor para el compresor y el resto de elementos auxiliares. Esta base si bien es un poco más voluminosa que las otras propuestas, le da a la unidad mayor estabilidad.

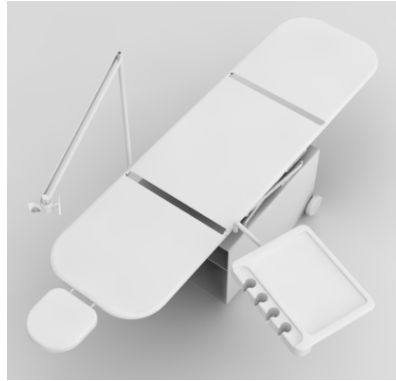


Fig. 12. Disposición general de la alternativa B.

Puesto que es de mayor volumen, la base sirve además como cámara de aislamiento acústico para el compresor, permitiendo una emisión moderada de ruido.

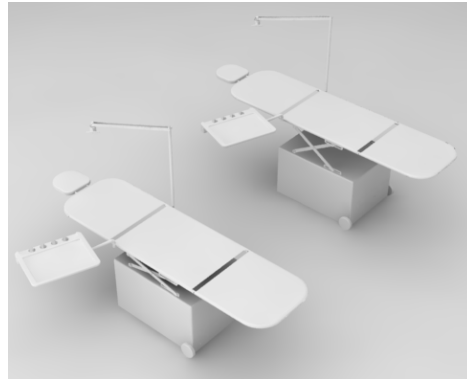


Fig. 13. Modificación de la altura alternativa B

Para modificar la altura, cuenta con un mecanismo de cuatro palancas con un seguro que impide el vuelque del sillón.

- **Bandeja y módulo neumático.** La bandeja se articula directamente al sillón con lo cual se ajusta su altura del piso simultáneamente con éste. Los holders y el módulo neumático se encuentran integrados a la bandeja lo cual evita el enredo de mangueras debido a la congestión del espacio de operación.
- **Sistema de succión.** Se dispone separadamente del módulo neumático para evitar la contaminación. La botella de residuos se encuentra en la base del sillón así como las válvulas principales de aire.
- **Iluminación.** La luz es de base fija articulada al sillón.

- **Instalación y transporte.** Para transportarlo, las piezas articuladas al sillón se desensamblan y se ubican dentro de la base del sillón, luego éste se pliega de forma que las partes batientes (el espaldar y el respaldo de las piernas) sirven como cubiertas externas al conjunto. La base del sillón cuenta con ruedas todo terreno para facilitar su transporte.

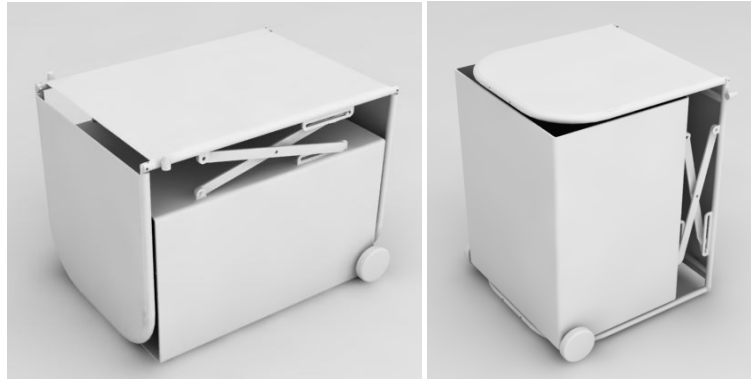


Fig. 14. Plegado de la alternativa A.

#### 4.1.3. Descripción de la alternativa C

El diseño de esta propuesta se enfocó en la reducción del peso total. Para esto, se elimina parte de la estructura rígida y se reemplaza por un inflable.

- **Sillón.** Es un inflable de PVC que soporta la parte baja del paciente. Para soportar la cadera y el resto del cuerpo, el inflable posee un marco de estructura metálica forrada en lona de alta resistencia para darle rigidez y estabilidad a la posición del paciente. Para modificar la altura, se utilizan tanto el sistema de aire a presión como el de vacío disponibles en la unidad para inflar o desinflar el sillón de forma controlada mediante un sistema de válvulas por etapas. El compresor se sitúa en el extremo del colchón dentro de un compartimiento aislado. Se aprovecha además el cuerpo inflado para aislar la vibración y el ruido producido por el compresor.



Fig. 15. Disposición general de la alternativa C.

- **Módulo neumático.** El módulo neumático se articula en el sillón e integra la bandeja y los holders.
- **Iluminación.** Se utiliza una lámpara del LED con base fija articulada al sillón.

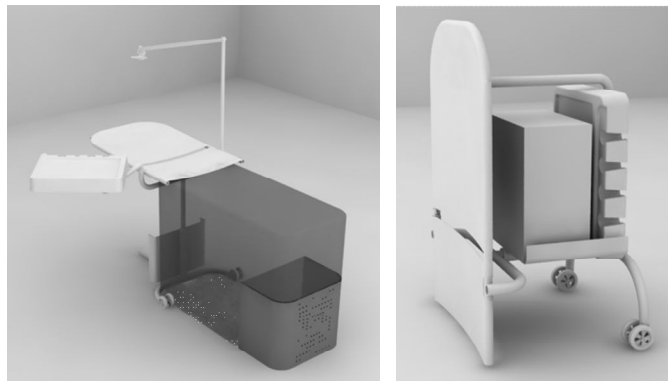


Fig. 16. Detalle del sillón y plegado de la alternativa C.

- **Instalación y transporte.** Para su transporte, se desinfla el sillón. Luego el módulo neumático, la lámpara y el compresor se ensamblan a la estructura rígida. Dispone de una tula flexible con cargaderas que permite que la unidad sea llevada por una sola persona.

#### 4.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA CON USUARIOS - SELECCIÓN DEL CONCEPTO DE DISEÑO

Las tres alternativas preliminares y los dos sistemas funcionales fueron puestos a consideración de los usuarios mediante una prueba de concepto, la cual se detalla en los anexos A29 al a33 y numeral 2.3.1. Ésta no solo permitió seleccionar la mejor de las tres

alternativas sino también evaluar los atributos positivos y negativos de cada propuesta de forma independiente, con el fin de lograr la mejor combinación de atributos. La prueba posibilitó además identificar nuevos atributos deseables.

#### 4.2.1. Concepto de funcionamiento odontológico seleccionado.

La prueba de concepto evaluó dos sistemas diferentes de funcionamiento neumático. Como resultado, se obtuvo una preferencia por un sistema que mezcla el sistema continuo con el intermitente. En la tabla 15 a continuación se resumen los sistemas y el porcentaje de favoritismo respectivo.

Tabla 15. Tipos de sistemas funcionales.

<b>FUNCIONAMIENTO INTERMITENTE:</b>	<b>27%</b>
El modo intermitente se recomienda en procedimientos en los que no se requiera el uso del eyector de saliva.	
Tal como en las unidades portátiles actuales, este modo de funcionamiento implica el accionamiento de un pedal eléctrico cada vez que se requiera suministro a cualquiera de los servicios.	
<b>FUNCIONAMIENTO CONTINUO:</b>	<b>30%</b>
En este modo, la unidad provee succión continua en el eyector de saliva. De igual forma, el accionamiento de la jeringa triple es libre de pedales.	
El suministro a las piezas de mano es controlado por un pedal neumático.	
El modo continuo se asemeja mucho más al funcionamiento de las unidades fijas.	
<b>FUNCIONAMIENTO COMBINADO</b>	<b>33%</b>
Este sistema permite alternar entre el modo intermitente y el continuo.	
El odontólogo puede decidir cuando dejar el sistema funcionando especialmente para proveer succión continua y los eyectores.	

#### 4.2.2. Evaluación escupidera vs. Evacuador.

Uno de los aspectos importantes que se logró determinar, fue el relacionado con el uso de un evacuador de volumen como reemplazo de la escupidera tradicional. La respuesta favorable de los encuestados a la pregunta sobre el reemplazo satisfactorio de la escupidera por el evacuador corresponde a más de la mitad del total del escrutinio (54%). Ver Fig. 17 a continuación.

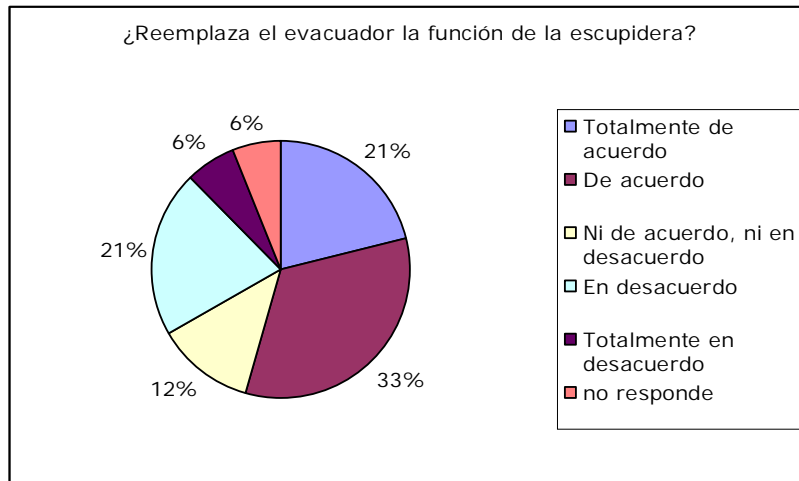


Fig. 17. Resultados sobre el reemplazo de la escupidera.

#### 4.2.3. Alternativa seleccionada.

La alternativa B (Fig. 18) fue seleccionada como la mejor por su facilidad de instalación y modificación de la altura del sillón, así como por el sistema de iluminación fijo al sillón.

La Fig. 19. Muestra los resultados de la selección de alternativas según el orden escogido por los encuestados para cada alternativa.

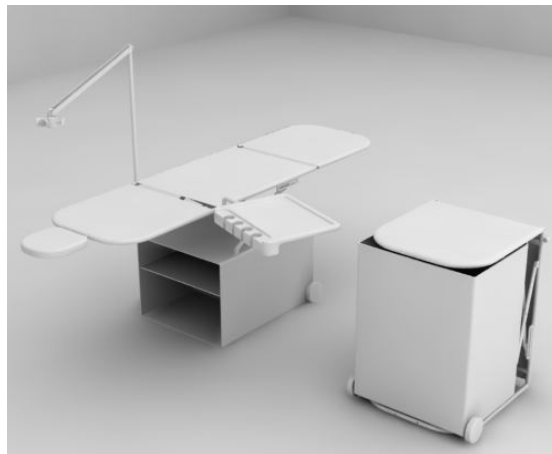


Fig. 18. Alternativa seleccionada.

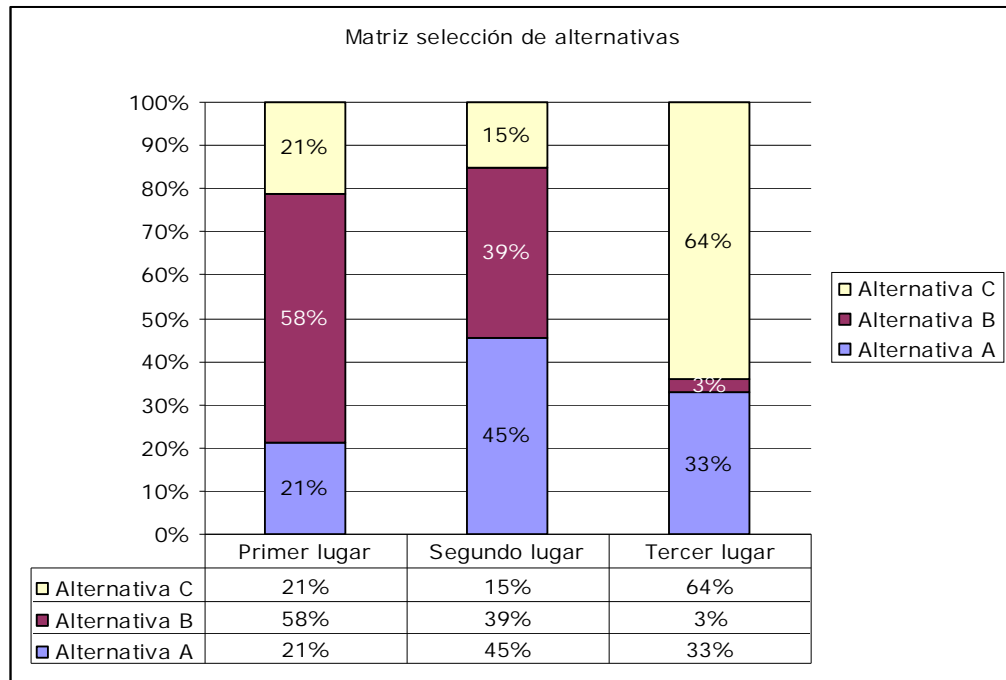


Fig. 19. Resultados selección de alternativas.

#### 4.3. DEL CONCEPTO DEL MODELO PRELIMINAR AL CONCEPTO FINAL

El proceso de desarrollo formal de la alternativa seleccionada se muestra en los anexos A34 y A45.

Finalizando este proceso, así como el análisis de ingeniería (capítulo cinco) de la alternativa preliminar seleccionada, se llegó al modelo preliminar. Fig. 20. Éste fue revisado luego con el cliente mediante una verificación de cumplimiento de la especificación de diseño y valoración costo / beneficio.

La verificación y la revisión produjeron los cambios que dieron lugar al concepto final seleccionado. Los cambios más relevantes se describen a continuación.

### 4.3.1. Resultados de la revisión de concepto.

- **Volumen y forma de llevar la unidad portátil.**

Mediante la fabricación de maquetas y prototipos de algunos componentes (Fig. 20) se logró constatar la insatisfacción de las expectativas en cuanto al peso y el tamaño del modelo preliminar. Cuadro 18.



Fig. 20. Maquetas y modelo preliminar.

Cuadro 18. Redefinición del Volumen y forma de llevar la unidad.

Modelo preliminar	Modelo final
<p>El transporte de todos los componentes se haría en un solo bloque lo cual implicaba serias dificultades para su manipulación durante el transporte debido al volumen.</p> <p>Por otro lado el peso resulto ser una variable subordinada al modo de aislamiento acústico escogido básicamente por su bajo costo.</p>	<p>La solución adoptada consistió en la división del volumen en dos componentes más fáciles de manipular por separado en el transporte.</p> <p>Si bien el peso total siguió estando en el límite de la especificación, la división del volumen permitió distribuir mejor la masa y sus momentos de inercia de acuerdo con la forma como se transportaría cada uno de los dos componentes por separado.</p>

- **Características del contenedor o base.**

Cuadro 19. Redefinición del contenedor.

Modelo preliminar	Modelo final
<p>La base consistía en una estructura externa dispuesta a manera de exoesqueleto, una serie de capas de lona formarían el contenedor y el gabinete acústico de lámina metálica en su interior.</p> <p>Al plegarse, el sillón se integraba a la base a manera de caparazón. Algunos componentes eran susceptibles de quedar demasiado expuestos a golpes durante el transporte.</p>	<p>La solución arquitectónica consistió en utilizar un armazón completo o carcasa que sirviera tanto de contenedor de las piezas como gabinete de aislamiento acústico.</p> <p>De esta forma los componentes internos quedan completamente protegidos.</p>

- **Características de la superficie del sillón.**

Cubiertas rígidas de polietileno de alta densidad o polipropileno termoformados se propusieron tanto como protección durante el transporte como superficies para el respaldo del paciente.

El apoya pies consistía en una lona sobre un marco metálico con el fin de reducir peso.

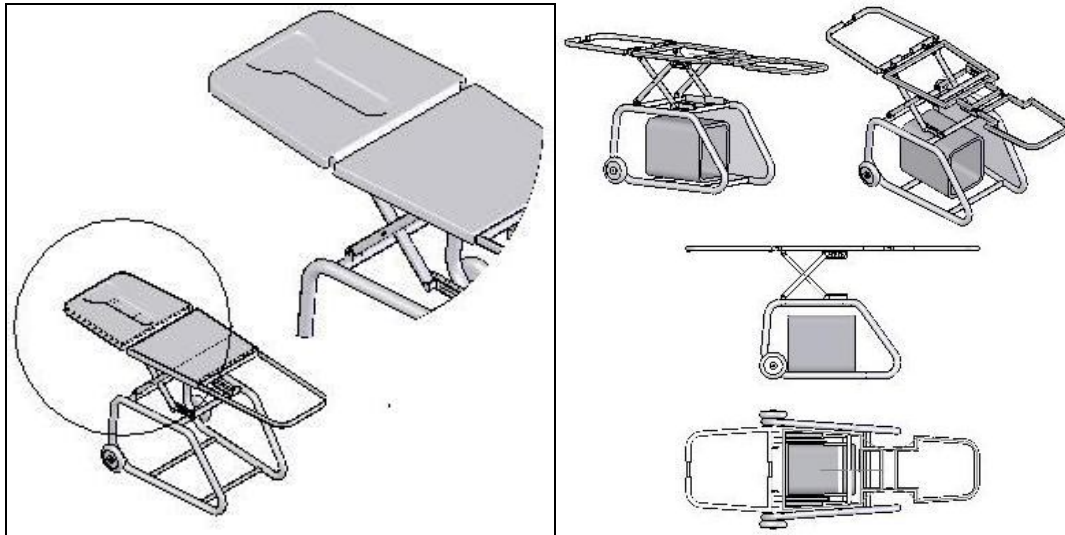


Fig. 21. Detalle de la camilla.

Cuadro 20. Redefinición de la Superficie del sillón.

Modelo preliminar	Modelo final
La superficie del sillón se planteó en el modelo preliminar de forma tal que sirviera además como carcasas de protección cuando la unidad se plegaba por el transporte. Esto implicaba el uso de materiales relativamente duros y de alta resistencia, los cuales no brindaban la comodidad necesaria para el paciente.	Para el modelo final se adoptó una apariencia más cercana a la de una unidad fija utilizando materiales y formas suaves y confortables.

- **Mecanismo de elevación del sillón.**

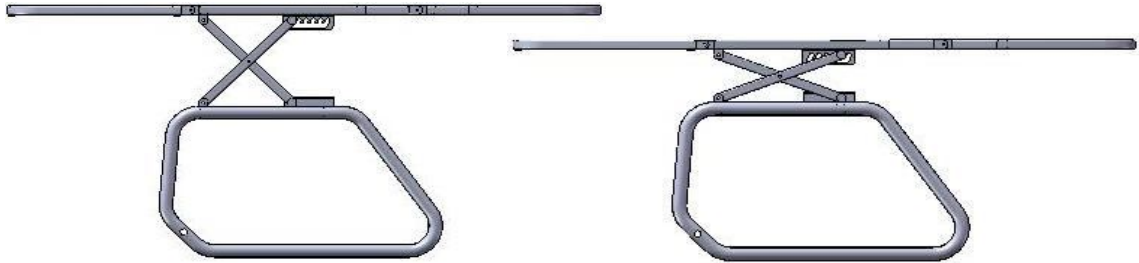


Fig. 22. Concepto de modificación de altura

Cuadro 21. Redefinición del Concepto de modificación de altura.

Modelo preliminar	Modelo final
<p>El mecanismo propuesto consistió en una pareja simétrica de tijeras cada una con dos pivotes fijos y dos correderas. Similar al utilizado en los sillones portátiles existentes.</p> <p>El usuario manipularía directamente una de las correderas con lo cual era imposible ubicar la altura con el paciente sobre el sillón.</p> <p>Al tener piezas móviles que el usuario manipularía, la posibilidad de accidentes era mayor.</p>	<p>La revisión de los sistemas de elevación resultó en la implementación de un sistema de cilindro de gas comprimido estándar, el cual aparte de ser más seguro, es mucho más amigable con el usuario que el sistema anterior.</p> <p>El mecanismo escogido no solo soluciona el problema de la modificación de la altura sino también el del ensamble de los dos componentes, sillón y base, separables para su transporte.</p>

- **Costo y enfoque de mercado.**

La demostración frente al cliente de los atributos superiores del modelo preliminar permitió fijar un rango de costos de producción que si bien era mayor al planteado inicialmente, no fue considerado como inconveniente frente a los beneficios competitivos dentro de un segmento de mercado más amplio. El cuadro 22 a continuación contrasta ambos elementos en el modelo preliminar y las decisiones de redefinición.

Cuadro 22. Redefinición del costo.

<b>Costo esperado inicialmente</b>	<b>Costo redefinido</b>
1'500.000 COP. Se esperaba un rediseño de la unidad con el mismo costo de producción del producto existente.	Se estableció un rango entre 2'600.000 y 3'500.000 COP para el costo de producción.
<p data-bbox="289 411 885 443"><b>Modelo preliminar</b></p> <p data-bbox="289 443 885 537">El estudio de las soluciones a las necesidades durante el desarrollo del modelo preliminar demostró ser inviable la expectativa de costo inicial.</p> <p data-bbox="289 537 885 604">El modelo preliminar se calculó con un costo de aproximadamente 2'700.000 COP.</p>	<p data-bbox="885 411 1482 478">El límite inferior permitió la implementación de un mínimo de soluciones satisfactorias.</p> <p data-bbox="885 485 1482 615">El límite superior permitió la ubicación del modelo final aún por debajo del costo de unidades odontológicas portátiles de fabricación europea y norteamericana.</p>

Cuadro 23. Redefinición de mercado.

<b>Segmento de mercado inicial</b>	<b>Redefinición del segmento</b>
Instituciones, universidades y empresas prestadoras de servicios de salud oral con atención ex situ.	Se conservó el núcleo del segmento inicial agregándose otros segmentos tales como:
<p data-bbox="289 875 885 907"><b>Modelo preliminar</b></p> <p data-bbox="289 907 885 1037">El conjunto de soluciones y atributos inclinó favorablemente la proporción costo / beneficio incluso a pesar de un aumento de casi el 80% en costos.</p> <p data-bbox="289 1037 885 1129">Este aumento de valor situó al modelo preliminar dentro de lo que se podría llamar "gama alta" en medio de la oferta de unidades portátiles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="885 875 1482 942">• Odontólogos que prestan atención domiciliaria urbana de "perfil alto" o atención a empresas.</li> <li data-bbox="885 949 1482 1079">• Odontólogos con intenciones de abrir consultorios con una unidad de muy bajo costo en comparación con las más baratas dentro de la oferta de unidades fijas.</li> </ul>

Capítulo 5

# Análisis de Ingeniería.

## 5. ANÁLISIS DE INGENIERÍA

Los análisis con modelos físicos y virtuales dieron a conocer las condiciones de funcionamiento de los subsistemas del producto, sus relaciones y las posibilidades de mejora a lo largo de varias etapas del proyecto. Ver cuadro 24.

Las pruebas físicas permitieron establecer comparativos entre los componentes estudiados con el fin de obtener criterios realistas de selección para la implementación del prototipo final. Los modelos virtuales permitieron construir paso a paso cada uno de los componentes, chequear las características físicas de las partes, comportamiento bajo cargas mecánicas y relaciones de posición.

Cuadro 24. Etapas de análisis de ingeniería.

Etapa	Actividades y Herramientas utilizadas			Resultados obtenidos
Definición concepto	Clarificación del problema			Árbol de funciones
	Exploración conceptual	Asesoría externa	Síntesis conceptual	3 Alternativas preliminares
	Prueba de concepto con usuarios			Selección del concepto de diseño
Modelo preliminar	Desarrollo formal y arquitectura			Modelo preliminar
	<b>Análisis de ingeniería (A.I.): Experimentación</b>			
	<b>A.I.: Procesos / costos</b>			
Revisión concepto	<b>A.I.: Modelaciones virtuales</b>			Selección del concepto final
	Verificación de cumplimiento de la especificación de diseño	Revisión con el cliente	Variación del concepto	
Modelo final	Desarrollo formal y arquitectura		Producción gráfica	Modelo final
	<b>Análisis de ingeniería A.I.: modelos DFA</b>			
	<b>A.I.: modelos mecánicos</b>			
	<b>A.I.: modelos elementos finitos</b>			

### 5.1. EXPERIMENTACIÓN CON MODELOS FUNCIONALES

Los modelos de experimentación funcional se centraron básicamente en dos componentes del producto: el aislamiento acústico y el sistema neumático.

#### 5.1.1. Aislamiento acústico.

El aislamiento acústico partió de la necesidad de aminorar los niveles de ruido que genera el compresor durante su operación (Fig. 23). El tratamiento de ruido se realizó mediante el método de cerramiento, que consistió en establecer una barrera en toda la periferia de la fuente con el fin de contener y disipar la energía acústica que ésta emite.

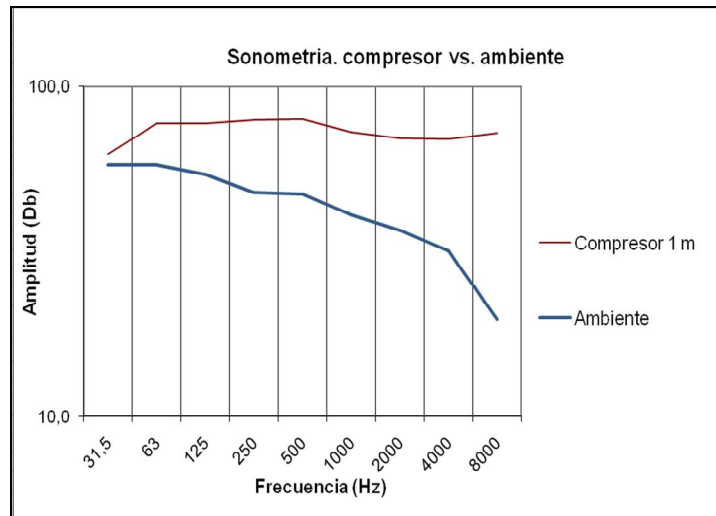


Fig. 23. Sonometría. Compresor

Funcionalmente se desarrollaron dos sistemas de gabinetes de aislamiento acústico que permitieron probar las cualidades de los materiales fonoabsorbentes, la disposición de los componentes en el producto final y la verificación de la reducción de los niveles de ruido producido. Ver Fig. 24, marco técnico y desarrollo de las pruebas en los anexos A36 a A39.

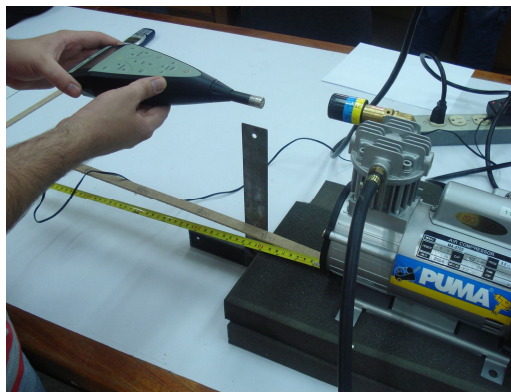


Fig. 24 Montaje para sonometrías.

- **Gabinete con silenciador removible.**

El modelo consistió en dos partes ensambladas (Fig. 25): el alojamiento del compresor y el silenciador removible, el cual funcionaría como toma de aire para el equipo y sería removible para facilitar el transporte. Las partes se fabricaron con lámina de acero recubierta internamente con paneles de lana mineral (Fig. 25 c) de una pulgada de espesor para la atenuación del ruido emitido.

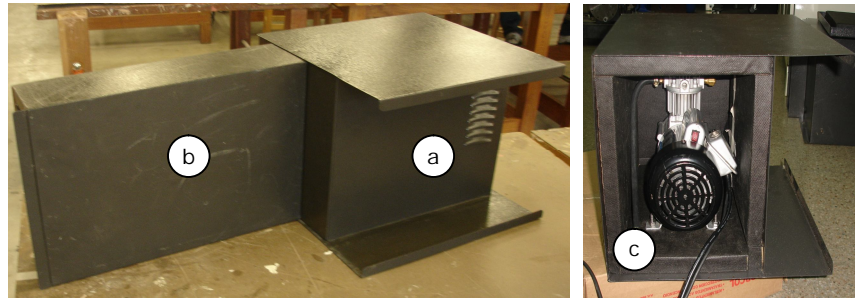


Fig. 25 Gabinete con silenciador removible. a) Alojamiento del compresor, b) silenciador, c) paneles

El modelo mostró una reducción significativa de ruido frente a la muestra del compresor (Fig. 26), sin embargo el volumen ocupado dentro del producto y la secuencia de instalación del silenciador removible y los componentes, así como su almacenamiento fueron deficientes y más complejos de lo esperado.

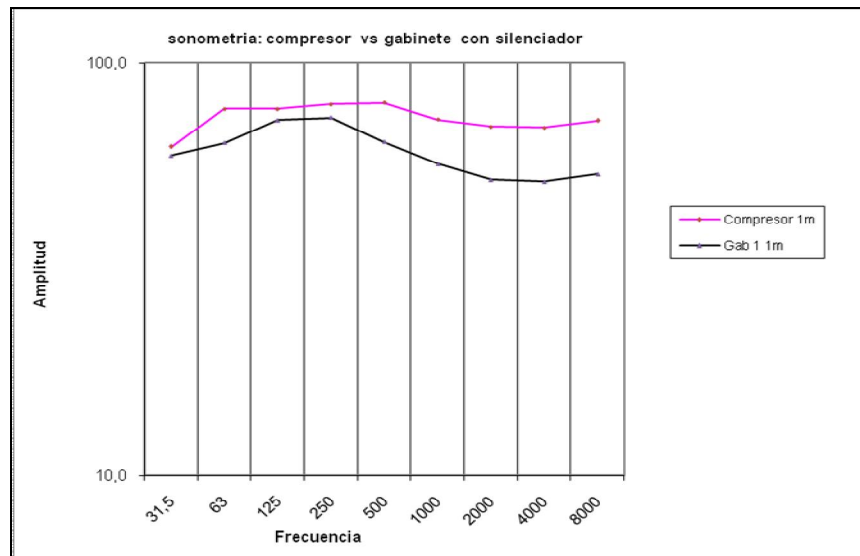


Fig. 26 Sonometría. Compresor vs gabinete con silenciador removible.

- **Gabinete con silenciador tipo laberinto.**

En la construcción de este modelo se buscó mejorar los inconvenientes de ensamble, manufactura y volumen que existían en el modelo previo. El gabinete tipo laberinto (Fig. 27), constó de un habitáculo para el compresor al cual se le adicionó una pared interna que crearía un conducto por el cual se alimentaría de aire al compresor. Esta pared de paneles absorbentes unida a los demás paneles que forman el habitáculo evitaría que las ondas sonoras que se emiten en la fuente, fuesen directamente al exterior. Para compensar la disminución en el caudal de alimentación de aire se complementó el diseño con un extractor de aire anclado al gabinete.

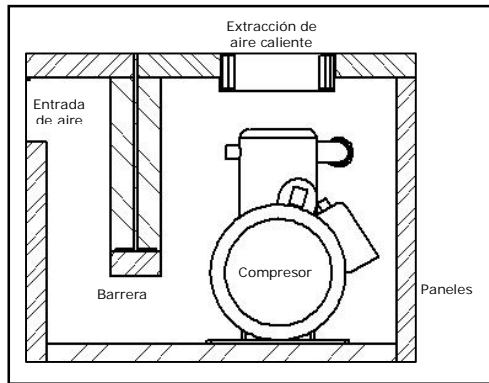


Fig. 27. Gabinete tipo laberinto (vista en sección)

La prueba con este cerramiento arrojó resultados similares, en la banda de frecuencias medias y altas, a la prueba con el modelo anterior. Sin embargo, en las frecuencias bajas, el resultado se vio afectado mostrando un incremento, posiblemente ocasionado por el uso del extractor o fallas de construcción. En la Fig. 28 se aprecian los resultados comparativos de las alternativas.

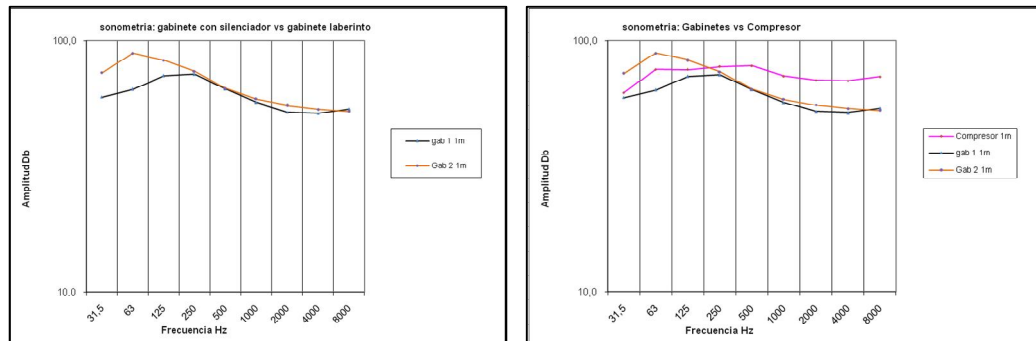


Fig. 28. Sonometría: a) compresor vs. Gabinete tipo laberinto, b) gabinetes vs. Compresor

La selección de la alternativa a implementar en diseño final se definió según la tabla 16 mediante una matriz de atributos del componente.

Tabla 16. Criterios de selección del gabinete acústico.

Gabinete	Atributos.						Total
	Insonorización	Peso	Volumen	Ensamble Componentes	Costo	Acceso Compresor	
con silenciador	4	2	1	2	3	2	14
tipo laberinto	3	4	3	4	4	4	22

### 5.1.2. Sistema neumático.

Si bien el sistema de enrutamiento de aire a presión desde el compresor a las piezas de mano no presentó mayores alteraciones con respecto al modo utilizado en las unidades de servicio más sencillas, fue el subsistema de succión el que llevó al planteamiento de múltiples opciones de diseño, algunas de las cuales fueron realizadas en modelos físicos sujetos a experimentación. El desarrollo del circuito neumático se muestra en detalle en el anexo A44.

- **Determinación del dispositivo generador de vacío.**

Los dispositivos comerciales para sistemas de succión obedecen a dos principios físicos: Principio vénturi y principio de depresión del aire por medios mecánicos. El primero se utiliza en los dispositivos llamados eyectores y el segundo en las bombas de vacío y soplantes. En el campo de la odontología ambos tipos de dispositivos son usados ampliamente. Las características distintivas de estos dispositivos se muestran en el Cuadro 25.

Cuadro 25. Características comparadas de generadores de vacío.

Dispositivo / característica	Energía de entrada.	Vacío	Caudal volumétrico	Ciclo de operación	Longitudes de recorrido	Precio
<b>Eyector</b>	Neumática	Alto	Bajo	Corto	Corto	Bajo
<b>Bomba de vacío</b>	Eléctrica	Bajo	Alto	Largo	Largo	Alto

Frente a la necesidad de generar vacío para dos evacuadores (eyector de saliva y evacuador de volumen) con requerimientos de uso diferentes, ambos tipos de dispositivos ofrecían igualdad de ventajas y desventajas El Cuadro 26 a continuación muestra esta relación.

Cuadro 26. Requerimientos de los evacuadores y tipo de generador de succión.

Evacuador / requerimientos	Vacío mínimo necesario	Caudal volumétrico necesario	Ciclos de operación requeridos.	Longitudes de recorrido.
<b>Evacuador de saliva.</b>	Bajo: <i>ambos</i>	Mínimo: <i>eyector</i>	Continuo: <i>bomba</i>	Corto: <i>ambos</i>
<b>Evacuador de volumen.</b>	Bajo: <i>ambos</i>	Medio – Alto: <i>bomba</i>	Corto: <i>eyector</i>	Corto: <i>ambos</i>

Finalmente la selección del dispositivo se dio considerando el precio y la energía disponible para la alimentación. De esta forma, el eyector tipo vénturi resultó ser la mejor alternativa.

- **Dimensionamiento del compresor de aire.**

La selección del dispositivo de vacío significó además la necesidad de dimensionar el compresor teniendo en cuenta la presión de alimentación necesaria para generar vacío en el eyector. Ver Fig. 29 en donde se muestra la relación entre la presión de entrada y el vacío generado. Las otras variables para el dimensionamiento fueron la presión y el caudal volumétrico requerido por las piezas de mano. Ver anexo A41, sobre la técnica de vacío y A42 prueba de eyectores.

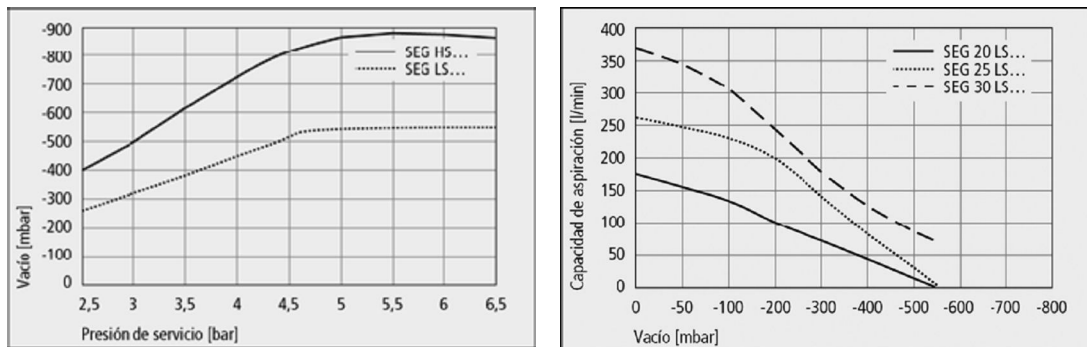


Fig. 29. Características de diferentes eyectores, a) Vacío frente a presión de servicio, b) Capacidad de aspiración frente a vacío. Tomada del catálogo online de Schmalz (2008).

A partir de la capacidad de aspiración necesaria en el evacuador de volumen se pudo estimar la presión de alimentación necesaria en el eyector. Puesto que la instalación neumática para una unidad odontológica portátil tiene un tamaño reducido, las pérdidas de presión pudieron ser despreciadas. La presión necesaria para el eyector se determinó en un rango de 4 a 6 bar con lo cual se satisfacía igualmente la demanda de las piezas de mano.

El compresor seleccionado además de cumplir con el dimensionamiento calculado, correspondió con las expectativas de costo, peso, disponibilidad y funcionamiento. Ver anexo A35 para comparaciones entre compresores.

- **Evaluación experimental de dos modelos de eyectores.**

Una vez dimensionado el sistema de alimentación se procedió a la evaluación de modelos de eyectores existentes en el mercado. Con base en las recomendaciones de los fabricantes, la selección y evaluación del modelo de eyector no pasó del modelo de cálculo al modelo experimental físico sino que procedió directamente con este último modelo. La razón de esto está en la naturaleza heterogénea de las sustancias a succionar (todos los tipos de residuos de la cavidad bucal) en cuanto a su fluidez, contenido de aire, densidad, etc. De esta forma resultó más eficaz la realización inmediata de pruebas.

Se realizaron pruebas con dos modelos de eyector. Fig. 30. El primero, de fabricación local, sin especificaciones técnicas y de bajo precio. El segundo, con especificaciones de rendimiento claras, silenciador y un precio alto. Las pruebas incluyeron la simulación de condiciones de operación como el accionamiento simultáneo de piezas de mano con el fin de probar la caída de succión en cada uno de los eyectores. Se cronometraron diferentes tiempos de succión para 250 mL de agua. Ver anexo A42. En la tabla 17 se muestran los resultados de las pruebas.

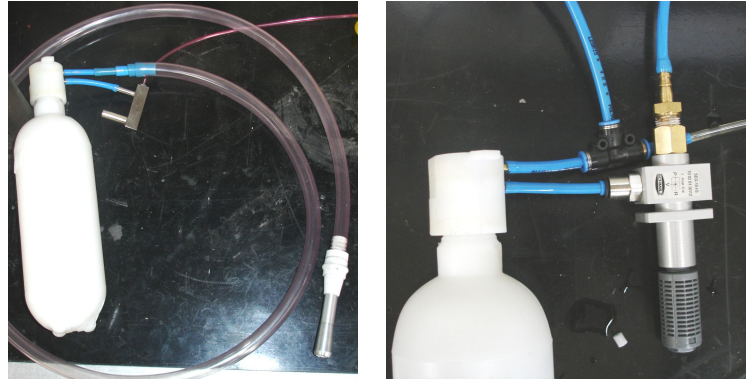


Fig. 30. modelos de eyectores evaluados.

Tabla 17. Prueba de selección del modelo de eyector.

Componente	Primer eyector	Segundo eyector sin silenciador	Segundo eyector con silenciador
HVE	30 s.	27 s.	30 s.
Eyector de saliva con pieza a 30 psi	1 min 10 s.	1 min 04 s.	<i>no funciona</i>

Puesto que el rendimiento de ambos modelos resultó ser similar, la selección fue determinada por el menor precio.

## 5.2. MODELOS VIRTUALES

En el proceso de diseño se utilizó el software de modelación tridimensional Solidworks (Fig. 31), que permitió desarrollar cada uno de los componentes en un ambiente virtual y chequear paso a paso la interacción de éstos entre sí, medir sus propiedades físicas, establecer parámetros dimensionales del producto y modificar o actualizar constantemente los modelos según los requerimientos de la especificación de diseño.

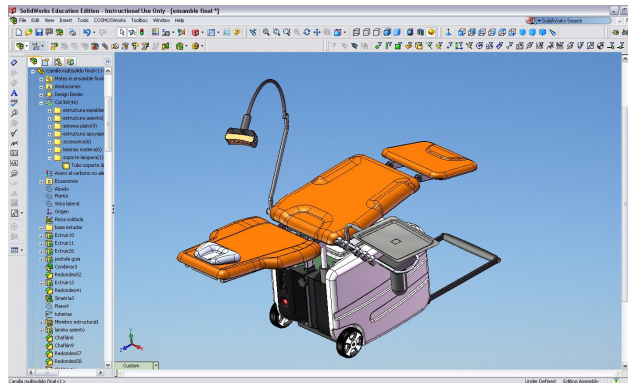


Fig. 31 Entorno de modelación de Solidworks.

Para aquellos componentes que se estimaron como críticos en el producto, se desarrollaron análisis de elementos finitos con la ayuda del software de análisis Cosmosworks con el fin de verificar la resistencia y la deformación del componente. (Ver numeral 2.4.1.)

### 5.2.1. Análisis de Mecanismos.

Los mecanismos analizados con más detalle en el proceso de diseño fueron: los sistemas de articulación de la camilla, la graduación de la altura del espaldar, las guías de acople entre la camilla y el plato de la base. Cada uno de estos fue modelado y ensamblado tridimensionalmente, descartando que en cada una de las fases de movimiento de la parte se provocaran interferencias en los sólidos. El análisis se desarrolló en paralelo con el proceso de modelación.

- **Sistemas de articulación de la camilla.**

Ésta constaría de tres componentes fundamentales: asiento, espaldar y apoya-pies. Las articulaciones desarrolladas permitieron que la camilla se plegase en si misma reduciendo su longitud a la mitad para transportarse de manera más eficiente.

**Plegado del espaldar:** El sistema de plegado del espaldar fue diseñado en forma de bisagra a partir de cuatro pares de platinas (Fig. 32). Estas platinas fueron separadas entre sí por un buje que ayudaría a repartir las cargas y disminuir la torsión en el momento de plegado.

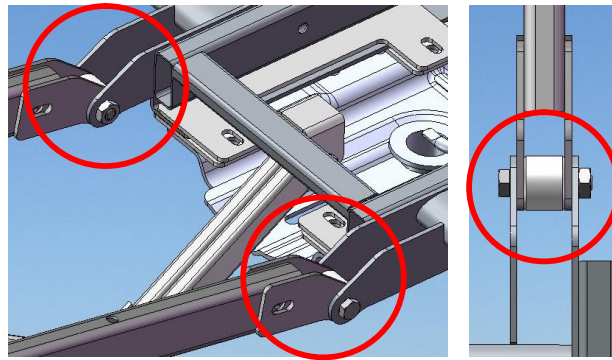


Fig. 32, sistema de pivote

Este sistema de pivote permitiría realizar movimientos en el espaldar de  $0^\circ$  a  $80^\circ$  sobre la horizontal en posición de función operatoria (Fig. 33) y de  $180$  grados bajo el eje horizontal en el momento de plegarse para ser transportado por parte del usuario. (Fig. 34)

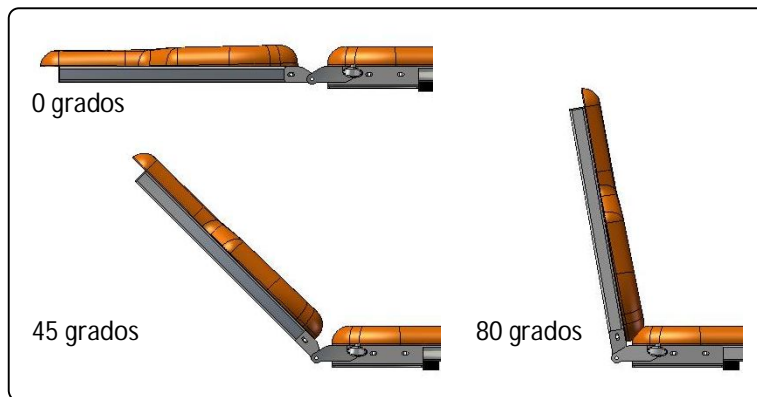


Fig. 33. Variación angular del espaldar en modo operatorio. (Vista lateral)

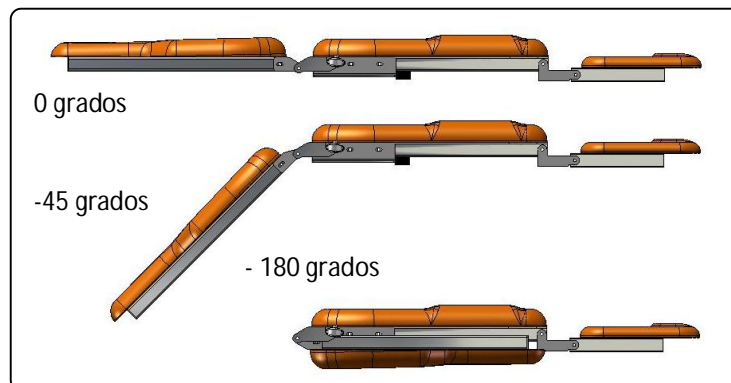


Fig. 34. Variación angular del espaldar al plegarse para transporte. (Vista lateral)

Los movimientos del espaldar estarían restringidos por medio del sistema de graduación angular del espaldar.

**Brazos de graduación angular del espaldar:** Según la norma NTC 2256 (1987) el espaldar del sillón odontológico debe proveer una variación en el ángulo entre  $180^\circ$  y  $110^\circ$  Fig.34. Para resolver este requerimiento se diseñó un sistema de dos barras que se articularían por medio de tres ejes y una guía lineal; el primer eje se situó en la base de la estructura del asiento, el segundo entre ambas barras y el tercero se insertó en la guía lineal de la estructura del espaldar. Fig. 35.

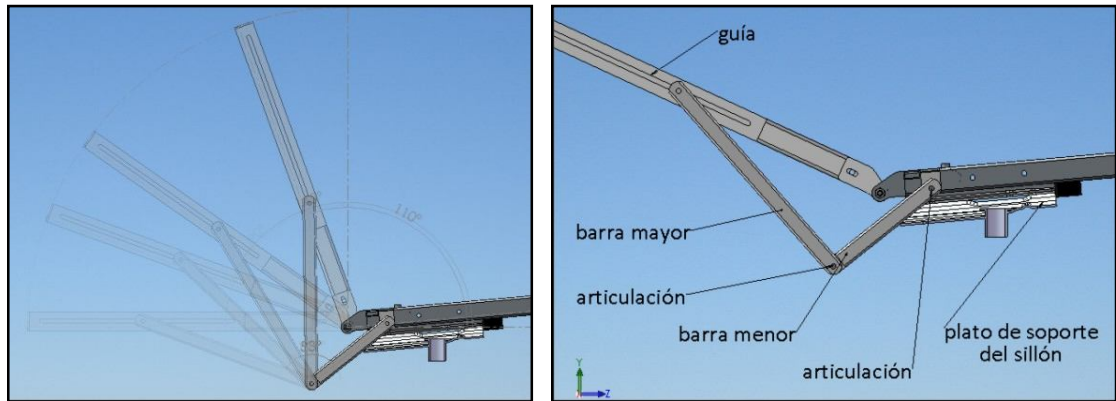


Fig. 35. Variación de las barras del espaldar y componentes del mecanismo de graduación angular.

La barra menor se apoyó en el plato de soporte del sillón transmitiendo las cargas hacia la base de la unidad. Por otra parte la guía de la estructura del espaldar le permitió a la barra mayor desplazarse para lograr el ángulo de trabajo deseado por el operador.

**Plegado del apoya-pies:** la función de plegado se produjo gracias a un sistema de doble articulación que unió el apoya-pies con el asiento y que limita su posición bajo el plano horizontal en alrededor de 20 grados para aportarle una posición adecuada al paciente. En el momento de plegarse la doble articulación permitiría que la superficie del apoya-pies se situase sobre el asiento de forma ajustada. (Fig. 36)

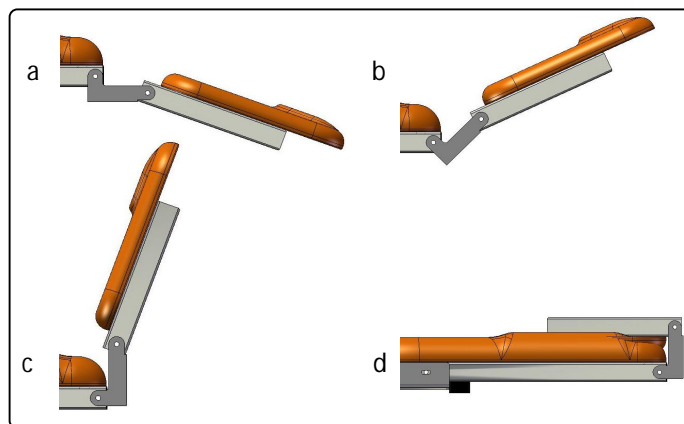


Fig. 36. Secuencia plegado del apoya-pies: a) con sillón abierto, b) herraje a 45 grados, c) herraje a 90 grados, d) plegado para guardar \*-se omite la deformación de las superficies- (vista lateral)

La doble articulación se produjo por un herraje en lámina doblada cuya geometría le permitió establecer dos puntos de colisión: con la estructura de asiento y con la estructura del apoya-pies. Con estos puntos de contacto (Fig. 37), se logró el posicionamiento del apoya-pies en la graduación indicada de 20 °.

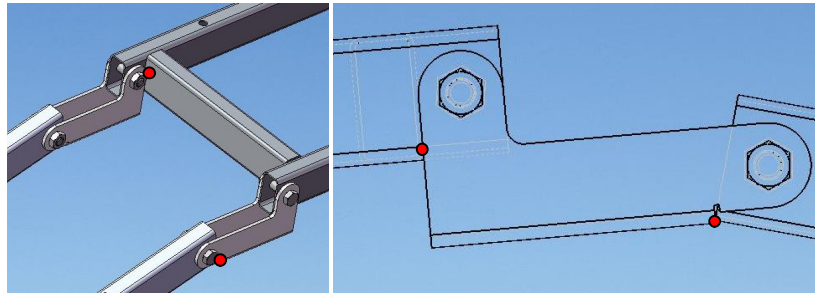


Fig. 37, puntos de contacto apoya-pies.

- **Mecanismos telescópicos y guías lineales**

En la unidad odontológica portátil (UOP) se implementaron dos sistemas telescópicos, el primero se ubicó en la agarradera y su principal función sería proveer al usuario una altura adecuada para mover la base rodante de la UOP. El otro, hace parte de un sistema redundante que soporta el peso del sillón y restringe el giro que tiene el pistón de aire comprimido de elevación del sillón.

Los mecanismos de guías diseñados permitieron graduar la inclinación del espaldar como se vio en la (Fig. 35) y desplazar la pata retráctil que esta alojada en la base de la estructura para dar mayor área de apoyo. (Fig. 38).

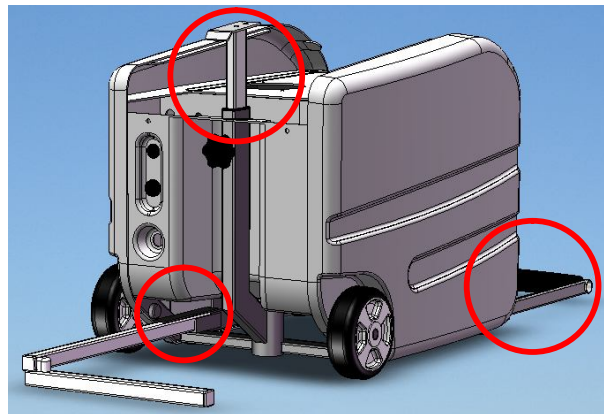


Fig. 38. Telescópicos y guías lineales.

Adicionalmente sobre el plato de la base se situaron tres platinas que formaron una corredera por la que se deslizaría la estructura del asiento y permitiría que el sillón se acoplase con la base. Fig. 39.

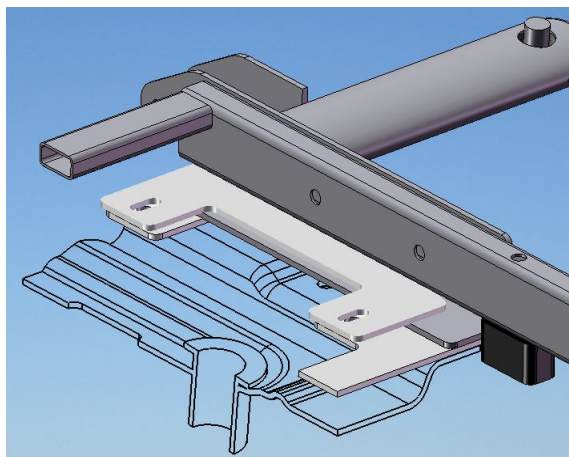


Fig. 39. Guías del sistema ajuste del sillón a la base (vista en sección)

### 5.3 ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

El método de análisis de elementos finitos fue usado para verificar el diseño de algunos de los componentes del equipo considerados críticos.

Los estudios estáticos realizados en cosmosworks permitieron visualizar: las tensiones máximas de las piezas al ser sometidas a cargas distribuidas sobre algunas de sus superficies, el desplazamiento y el factor de seguridad respectivo de cada parte.

Las partes evaluadas fueron: la estructura del asiento, los brazos de acople con el modulo de bandeja y el brazo de bandeja.

El mallado de los componentes se realizó con elementos tetraédricos sólidos y su tamaño y características se describe en las tablas de estudios estáticos del anexo A51.

Las fuerzas aplicadas en los diferentes ensayos fueron cargas distribuidas normales a la superficie, las magnitudes de estas cargas y las restricciones de los modelos se describen en el anexo A51 así como los demás datos del estudio, materiales y condiciones generales. Los resultados arrojados por los estudios se muestran a continuación en las tablas 18 a 23.

Tabla 18. Resultados estudio uno, elementos finitos.

RESULTADOS ESTUDIO 1			
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	5.94601e-007 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 751	222.997 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 6938
Desplazamientos	URES: Desplazamientos resultantes	0 mm Nodo: 5080	1.15496 mm Nodo: 2663

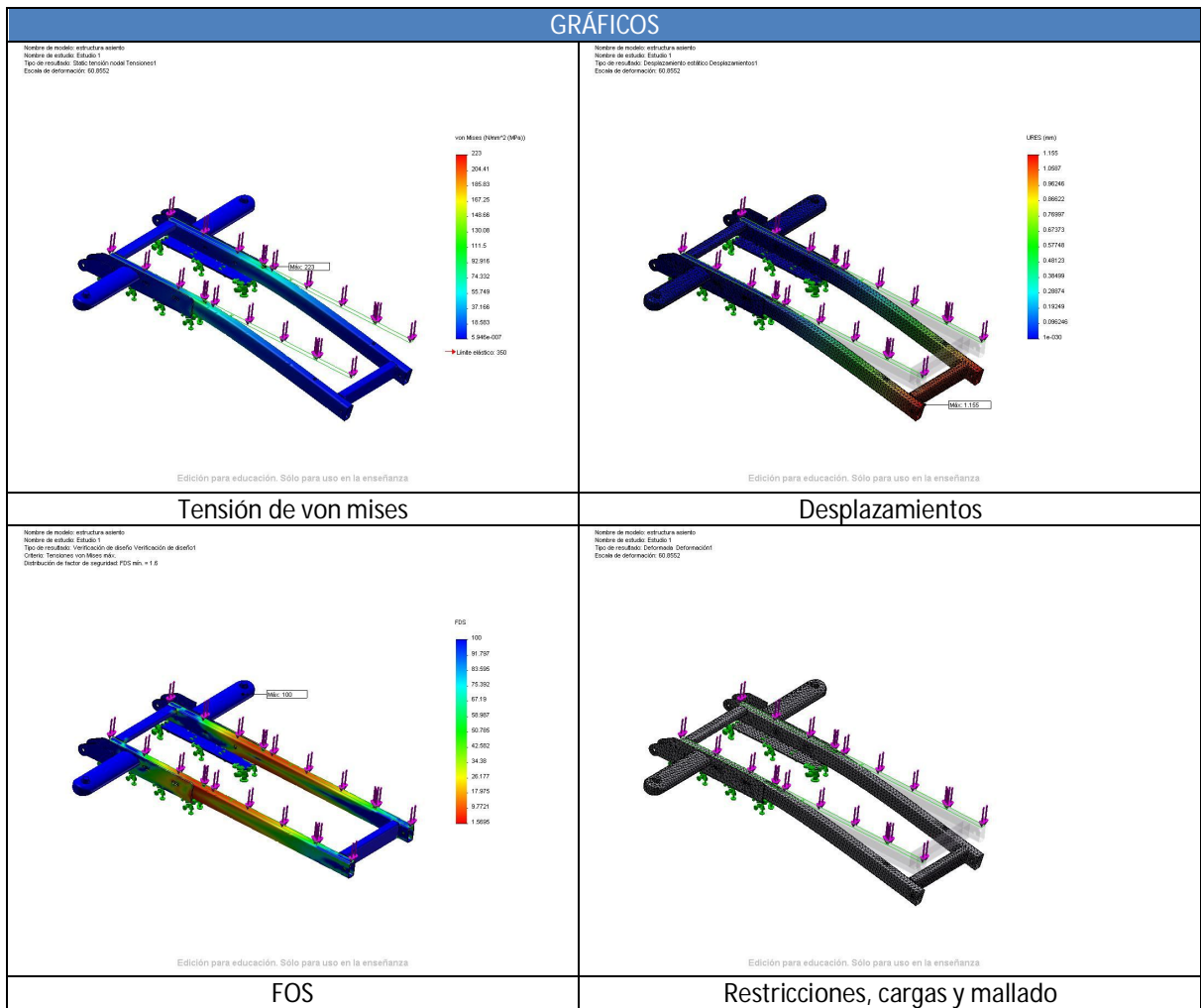


Tabla 19. Conclusiones estudio uno.

CONCLUSIONES ESTUDIO 1			
Tensión máxima:	223 Mpa	Límite elástico:	350 Mpa
Factor de seguridad	FOS 1.6	Pasa: S/N	SI
Según el análisis realizado la parte resiste las cargas a las que ha sido sometida, el desplazamiento es mínimo y el factor de seguridad esta por encima de 1			

Tabla 20. Resultados estudio dos, elementos finitos.

RESULTADOS ESTUDIO 2			
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	3.44774e-005 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 34793	145.402 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 51175
Desplazamientos	URES: Desplazamientos resultantes	0 mm Nodo: 5080	0.375802 mm Nodo: 667

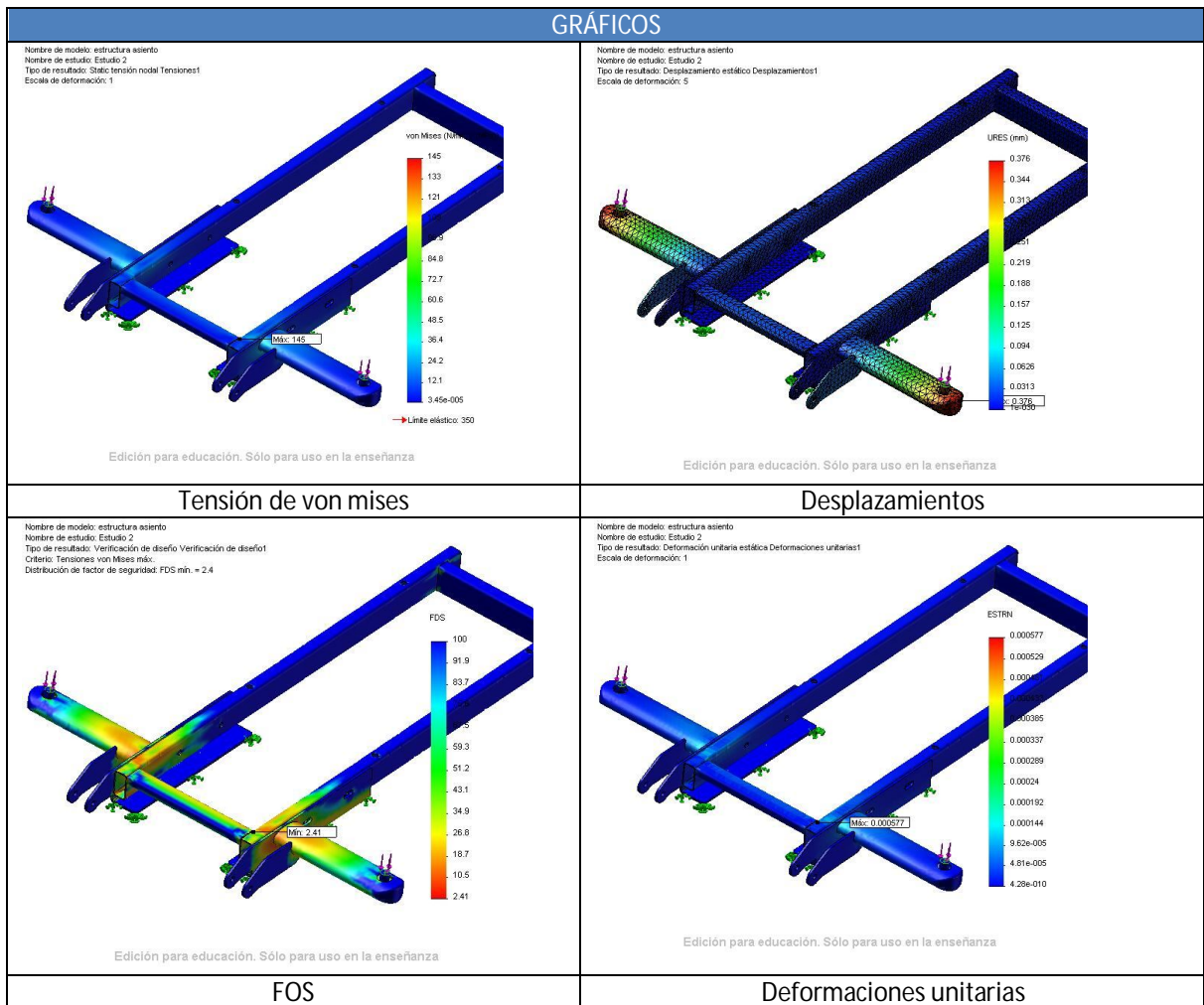


Tabla 21. Conclusiones estudio dos.

CONCLUSIONES ESTUDIO 2			
Tensión máxima:	145 Mpa	Limite elástico:	350 Mpa
Factor de seguridad	FOS 2.4	Pasa: S/N	SI
El análisis estático realizado permitió ver que las cargas comprometen estructuralmente la parte, el desplazamiento es mínimo y el factor de seguridad esta por encima de 1			

Tabla 22. Resultados estudio tres, elementos finitos.

RESULTADOS ESTUDIO 3			
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	0.55024 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 26793	281.075 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nodo: 537
Desplazamientos	URES: Desplazamientos resultantes	0 mm Nodo: 1008	10.5663 mm Nodo: 635

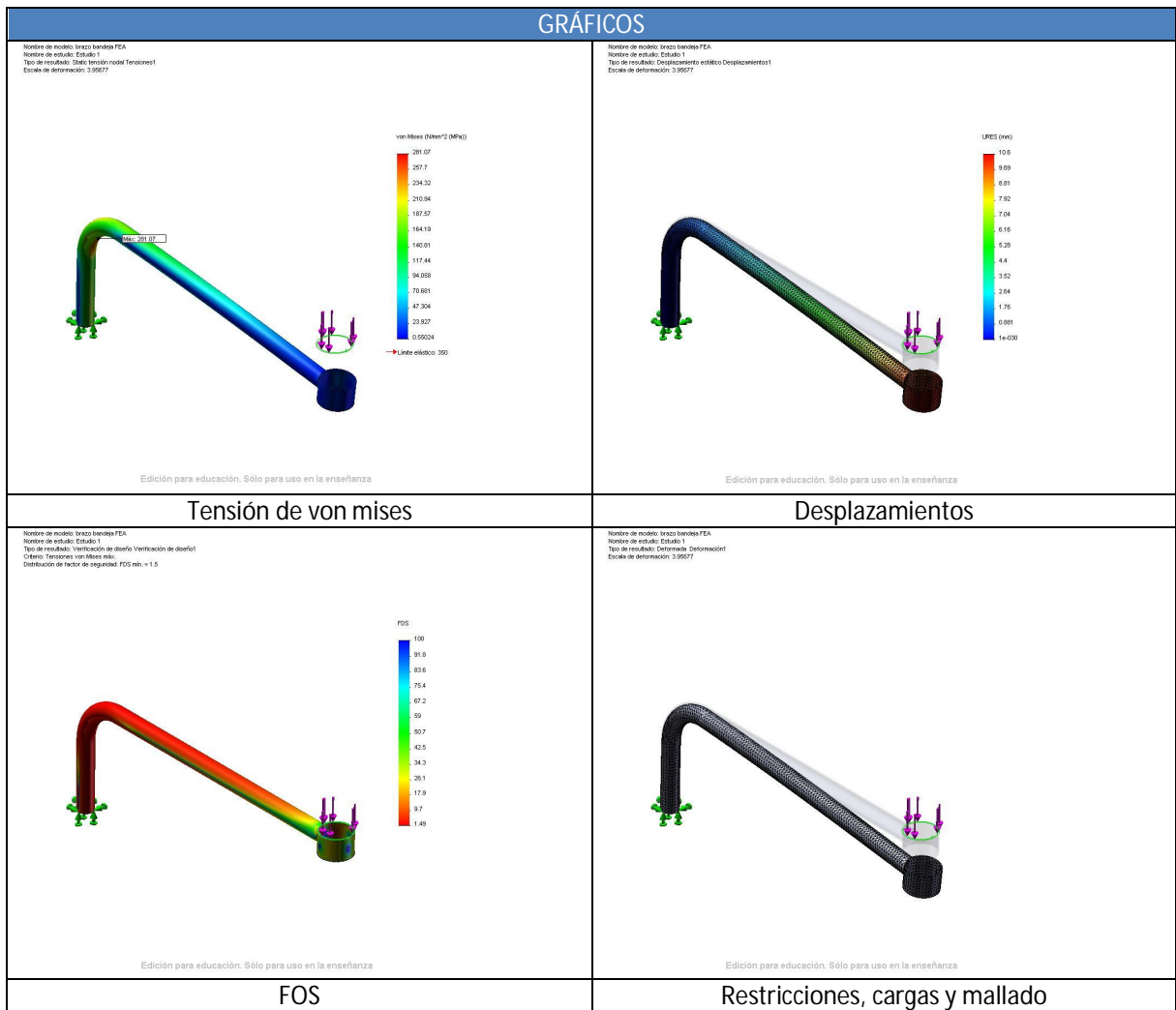


Tabla 23. Conclusiones estudio tres.

CONCLUSIONES ESTUDIO 3			
Tensión máxima:	281.07 Mpa	Límite elástico:	350 Mpa
Factor de seguridad	1.5 mínimo	Pasa: S/N	SI
El componente resiste las cargas aplicadas, su desplazamiento es elevado pero el factor de seguridad esta por encima de uno. Se recomienda un ensayo de fatiga.			

Capítulo 6

# Descripción del Producto diseñado.

## 6. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO DISEÑADO

### 6.1 ATRIBUTOS CLAVES DEL PRODUCTO

El diseño de la Unidad Odontológica Portátil rompe con el paradigma en el cual la atención básica odontológica ex situ y en especial en sitios remotos, implica el uso de equipos poco estéticos, limitados, incómodos y con garantías de seguridad apenas tolerables.

Las incomodidades asociadas al trabajo con equipos portátiles tales como el ruido, la pobre iluminación, la inadecuada evacuación de fluidos y la fatiga, son reducidas por medio de soluciones sencillas e innovadoras integradas en un equipo compacto. Aunque el modelo es robusto y tiene un peso similar al de otras unidades portátiles, la distribución de cargas al momento de transportar la unidad, minimiza las posibilidades de sobre cargas nocivas para quien lo lleve. Así mismo, la utilización de materiales impermeables y sistemas más eficaces de evacuación de fluidos reducen las amenazas a la bioseguridad presentes en los equipos destinados al uso por fuera del ambiente controlado del consultorio.

Si bien su uso es pensado para sitios toscos, el diseño propone un contraste visual mediante líneas ligeras y estilo urbano con el fin de propiciar ambientes de trabajo más confortables para el odontólogo y su paciente. Igualmente, el modelo presenta características funcionales de uso más familiares para el profesional en su ambiente normal de consultorio.

El diseño plantea además soluciones al problema del mantenimiento correctivo, en especial en sitios remotos, al utilizar elementos con mayor vida útil, mejor protección de los componentes durante su transporte / almacenamiento, incorporación de piezas fáciles de reparar y minimización de las causas de daños más frecuentes durante el uso y manipulación.

#### 6.1.1. Más comodidad y familiaridad.

La arquitectura y las funciones de la unidad odontológica portátil (UOP) son más similares a las que un odontólogo encontraría en una unidad fija de consultorio, haciendo más fácil la operación del equipo y disminuyendo el tiempo perdido en aprender a manejar la unidad.

- Bandeja y holders de servicios integrados de fácil posicionamiento espacial. A diferencia de la mayoría de unidades portátiles, los servicios se encuentran alojados en

la misma bandeja de instrumentos con lo cual se eliminan movimientos incómodos e interferencias entre la bandeja y un módulo de servicio independiente.



Fig. 40. Posición de la bandeja y servicios.

- Fácil y suave ajuste de la altura del sillón. Por medio de un dispositivo de gas comprimido se puede elevar el sillón rápidamente y luego ajustar su altura con la carga del paciente.

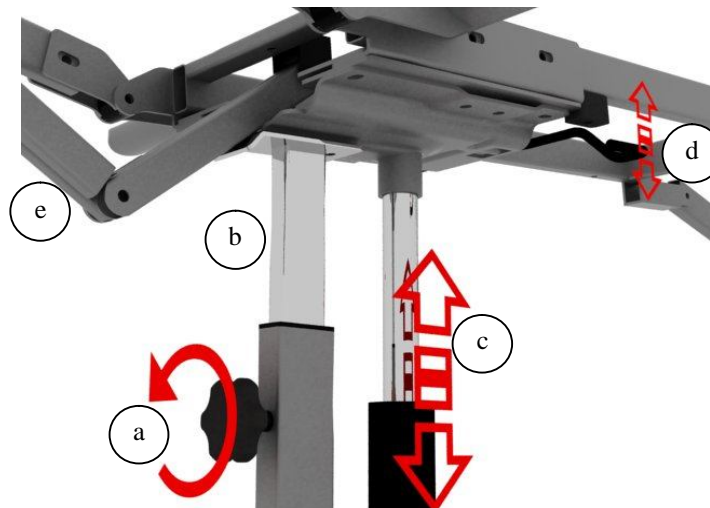


Fig. 41 Sistema de elevación: a) perilla de ajuste, b) Barra de soporte, c) Columna, d) Palanca de accionamiento, e) Brazo del mecanismo del espaldar

- Eyectador de saliva, evacuador de mediano volumen y jeringa triple de funcionamiento continuo e independiente, con lo cual se garantiza una cavidad bucal siempre limpia.

- Aislamiento acústico del ruido del compresor y sistema de extracción de aire para evitar sobre calentamientos. Una de las mayores incomodidades de las unidades portátiles es el ruido generado por los compresores de aire. El modelo disminuye el ruido, especialmente en las frecuencias más altas, hasta un nivel apto para el trabajo de precisión.
- Butaca con espaldar. El apoyo lumbar disminuye los riesgos para el odontólogo y aumenta su nivel de confort.
- Uso por parte de personas zurdas. Los soportes a ambos lados del sillón para los brazos de la lámpara y el módulo de bandeja son iguales y simétricos con lo cual se permite el acople de los componentes según las necesidades del odontólogo.

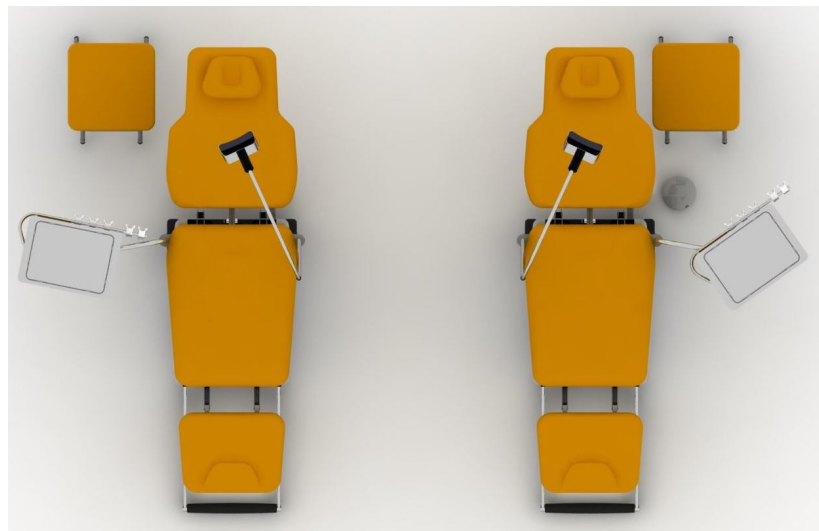


Fig. 42. Acople simétrico de módulos

### 6.1.2. Más todo-terreno.

La UOP sobresale por su novedosa forma de ser transportada. La unidad se divide en dos componentes cada uno de los cuales tiene un peso y proporciones aptos para su forma particular de transporte. Una parte se lleva cómodamente en la espalda a manera de mochila y la otra se arrastra como maleta. Esta distribución facilita además la manipulación de las cargas repartidas por separado si así se requiere.

- Mochila. Con un peso reducido, el operario puede llevar cómodamente en su espalda el sillón plegado dentro de una tula impermeable. El tapizado acolchonado del sillón sirve además para dar confort a quien lo lleva como mochila.



Fig. 43. Usuario cargando el sillón.

- Maleta. Dentro de una resistente carcasa de compuesto de fibra de vidrio se lleva de forma segura los componentes más frágiles de la unidad. Cuenta con una agarradera retráctil similar a las que se utilizan en las maletas de viaje.



Fig. 44. Fotografía modulo cart.

- Ruedas industriales más grandes y resistentes al tráfico por terrenos difíciles.

### 6.1.3. Más diferenciación en tecnología.

La UOP no solo incorpora las soluciones más simples a las necesidades de la operatoria ex situ sino que también forma parte en la vanguardia de los equipos odontológicos incorporando tecnología emergente de gran crecimiento comercial.

- Lámpara con tecnología LED con el consumo energético más eficiente disponible, larga vida de servicio, excelente color e intensidad y ninguna radiación de calor y rayos UV.

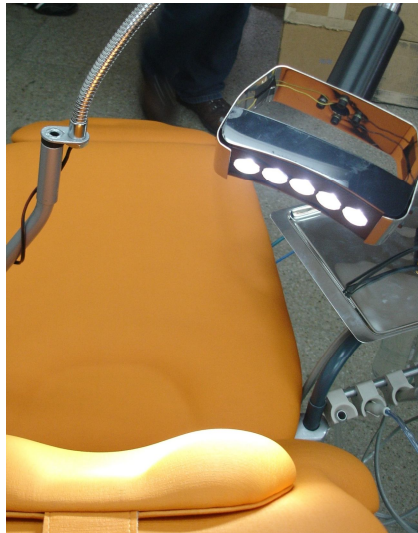


Fig. 45. Lámpara de iluminación por LED.

### 6.1.4. Más seguridad e higiene.

La poca estabilidad y rigidez del sillón ante los movimientos del paciente así como la dudosa asepsia del conjunto son problemas frecuentemente encontrados en las unidades portátiles tradicionales. La UOP garantiza tanto la integridad como la bio seguridad del paciente y el odontólogo teniendo en cuenta que las condiciones circundantes de atención ex situ son frecuentemente pobres.

- Además del eyector de saliva, la UOP cuenta con una terminal para evacuación de volúmenes mayores de fluidos compatible con puntas de hemoeyector y escupideras desechables. Ésta terminal garantiza la succión de elementos cuyo tamaño taponaría a un eyector de saliva estándar.
- Materiales estériles y sin poros, evitando el uso de tejidos, especialmente en los tapizados.

- Máxima área de apoyo de la unidad desplegada sobre el piso, con ayuda de soportes retractiles y niveladores, para otorgarle mayor estabilidad y rigidez al sillón.

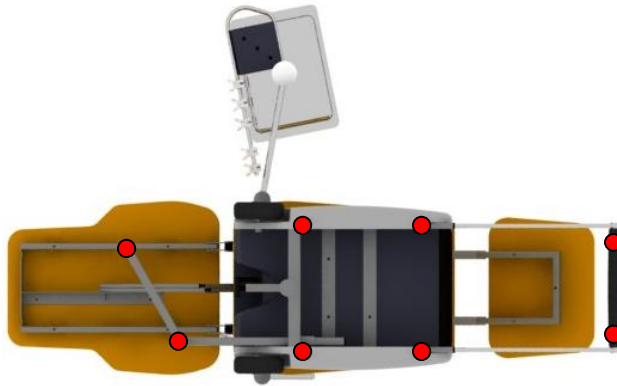


Fig. 46. Puntos de contacto con el piso.

- Emisión segura de ruido y ninguna radiación UV. Elementos generadores de calor completamente aislados y parada de emergencia activada con el pie.

#### 6.1.5. Más integración de funciones.

El modelo ofrece soluciones al problema de la integración de funciones y componentes en su modo de uso, transporte y almacenamiento.

- Cada componente tiene su sitio para almacenamiento dentro de la base. No quedan elementos sueltos.



Fig. 47. Imágenes de almacenamiento de componentes

- Funcionalidad compartida del espaldar del sillón. Durante el transporte como mochila, el espaldar destinado para el paciente sirve además para darle confort al portador.



Fig. 48. Sillón. a) Posición operatoria, b) Posición de transporte

- Función de contrapeso de la base. La masa de la base cuyo centro se encuentra en el compresor sirve de contrapeso para la carga dinámica del paciente durante la operación.
- Funcionalidad compartida de las patinas del apoya-pies. Sirven para articular el apoya-pies durante la operación así como para apoyar erguido al sillón plegado para su almacenamiento.



Fig. 49. Platina apoya-pies. a) en posición de operación. b) plegadas para apoyar el sillón.

- Agarradera y soporte. El elemento retráctil que sirve como agarre durante el transporte de la maleta sirve como soporte sobre el piso en la posición de operación.



Fig.50. Agarradera. A) Posición estática, b) Posición de transporte

- Integración formal de la butaca. Para el transporte y almacenamiento, la butaca se pliega y se integra a la base de manera que completa su silueta.



Fig. 51. Butaca guardada

## 6.2. COSTO DEL PRODUCTO

### 6.2.1. Aproximación al costo total de producción unitario.

La aproximación se realizó a partir de la tabla de costos (anexo A58) la cual toma como referencia precios de piezas estándar importadas en dólares estadounidenses y piezas estándar colombianas con precios del primer semestre del 2008 con impuesto al valor agregado incluido. Por otro lado, el prototipo alfa fue fabricado casi en su totalidad con materiales, procesos y acabados reales. Así, los componentes fabricados para el modelo, que no son estándar, fueron calculados con un descuento por volumen de acuerdo con el criterio de cada fabricante particular. Además de las referencias anteriores, se sumó un aproximado de costos variables por el ensamble de cada unidad.

<b>Costo material + mano de obra + otros costos variables= \$ 3 292.530</b>
---

### 6.2.2. Distribución de los costos.

Las tablas siguientes muestran la distribución de costos de diferentes formas. La tabla 24 según componentes. Tabla 25 según el origen de los componentes (pieza estándar o según planos). La tabla 26 muestra los procesos particulares más costosos. La tabla 27 muestra una relación de algunos atributos específicos del producto y su costo.

Tabla 24. Distribución de costos por componente.

COMPONENTE	%	\$
módulo base	12%	381.172
módulo bandeja	15%	505.254
compresor y aislamiento	22%	713.642
agarradera	0%	13.908
butaca	2%	68.636
carcasa de fibra de vidrio en PS	12%	404.000
estructura base	5%	156.758
mecanismo de altura	3%	86.310
sillón	13%	412.050
sistema lámpara	14%	470.804
<i>TOTAL</i>	<i>100%</i>	<i>3.292.534</i>

Tabla 25. Distribución de costos según origen del componente.

Origen	%	\$
Piezas y componentes estándar.	45%	1.498.084
Piezas y componentes hechos sobre planos u otras fabricaciones especiales.	55%	1.794.450

Tabla 26. Procesos y costos de componentes.

Proceso (incluye mano de obra y material)	%	\$
Vaciado, desmoldeo, pulida y pintura de carcasas	12%	400.000
Metal mecánica, corte CNC y soldadura.	10%	317.450
Tapizados	8%	255.000
Trabajo en torno.	7%	245.000

Tabla 27. Atributos y costos.

Atributo	%	\$
Aislamiento del ruido del compresor	6%	199.500
Sistema de succión de volumen.	4%	149.000

### 6.3. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE CADA SISTEMA FUNCIONAL O COMPONENTE

La unidad odontológica esta compuesta por la base o cart, el modulo de bandeja, la lámpara, la butaca y el sillón operatorio. Cada uno de estos componentes esta descrito con mas detalle en el anexo A1.



Fig. 52. Componentes de la UOP

## **6.4. MODO DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN**

La UOP almacenada se encuentra repartida en dos partes como se muestra más arriba en la descripción del modo de transporte (numeral 6.1). Para la instalación y operación se debe verificar la disponibilidad de corriente eléctrica, ventilación del espacio alrededor y firmeza del piso. Igualmente se debe contar con agua apta para el consumo humano y un sitio apropiado para la disposición de desechos líquidos y sólidos de riesgo biológico. Ver anexo A60, Manual de usuario, para detalles de la instalación y conexión de la unidad.

### **6.4.1. Instalación y conexión de la unidad.**

La instalación completa de la unidad antes del encendido toma entre 7 y 10 minutos y puede ser realizada por una sola persona.

### **6.4.2. Encendido de la lámpara y el sistema compresor / extractor.**

El circuito eléctrico de la unidad es alimentado a través de un solo cable de conexión a toma corriente de 110 voltios a 60 Hz. Una vez conectadas la lámpara y el cable de alimentación se puede oprimir el switch manual de encendido principal. Éste enciende inmediatamente la lámpara y el extractor de aire los cuales pueden permanecer encendidos durante toda la operación. Por otro lado, si bien el compresor puede tener ciclos de servicio continuo de hasta 20 minutos, es recomendable que el operador apague el compresor cuando su uso no sea necesario durante la operación. Para garantizar un mínimo de contaminación al manipular el equipo durante la operación, el encendido / apagado del compresor se realiza presionando el switch tipo hongo con el pie. El compresor cuenta además con un dispositivo de protección el cual corta el suministro de energía hacia el compresor en caso de sobrecargas.

### **6.4.3. Operación de servicios.**

- **Jeringa triple.** Para operarla solo es necesario mantener encendido el compresor para lo cual se requiere oprimir el switch hongo con el pie una sola vez. Después de apagado el compresor, la botella de agua permanece presurizada con lo cual se garantiza suministro de agua a través de la jeringa. Es recomendable que el operario elimine la presión excesiva de la botella de agua especialmente cuando la jeringa triple no está en uso. Para esta operación solo debe presionar de forma continua la salida de aire de la jeringa con el compresor apagado.

- **Evacuadores (eyector de saliva y evacuador de bajo volumen).** Para operar alguno de los dos evacuadores disponibles solo es necesario mantener encendido el compresor para lo cual se requiere oprimir el switch hongo con el pie una sola vez. Ambos pueden funcionar en forma simultánea incluso con las piezas de mano y jeringa triple funcionando. Sin embargo, para hacer un uso efectivo del evacuador de volumen es necesario desactivar cualquier otro servicio incluyendo el eyector de saliva, el cual se cierra al mover la palanca ubicada en la terminal asegurándola contra el holder respectivo. Por el contrario, el eyector de saliva puede funcionar continuamente aún con las piezas de mano y jeringa triple funcionando. En general, es recomendable hacer uso de los evacuadores en forma excluyente el uno del otro mediante el cierre manual de sus respectivas válvulas terminales como se explica más arriba.
- **Piezas de mano y pedal.** La unidad portátil es de operación manual lo que significa que el operario debe activar / desactivar las piezas de mano mediante una válvula de palanca para cada pieza, ubicada en el módulo de bandeja. Una vez es activada una pieza de mano, ésta funciona oprimiendo de forma continua el pedal neumático siempre que el compresor esté encendido. Para la pieza de alta, el operario cuenta con una válvula de perilla con la que puede controlar el caudal de agua necesario. Entre ciclos de operación de las piezas de mano no se necesita apagar el compresor, sin embargo es recomendable hacerlo siempre que no se requiera del uso de la jeringa triple y evacuadores.
- **Descarte de residuos del módulo de succión.** La botella de residuos tiene una capacidad de un litro, lo cual garantiza la atención continua de un paciente en condiciones normales de operación. Para el descarte de residuos se procede a levantar el módulo de succión y desenroscar la botella de residuos.

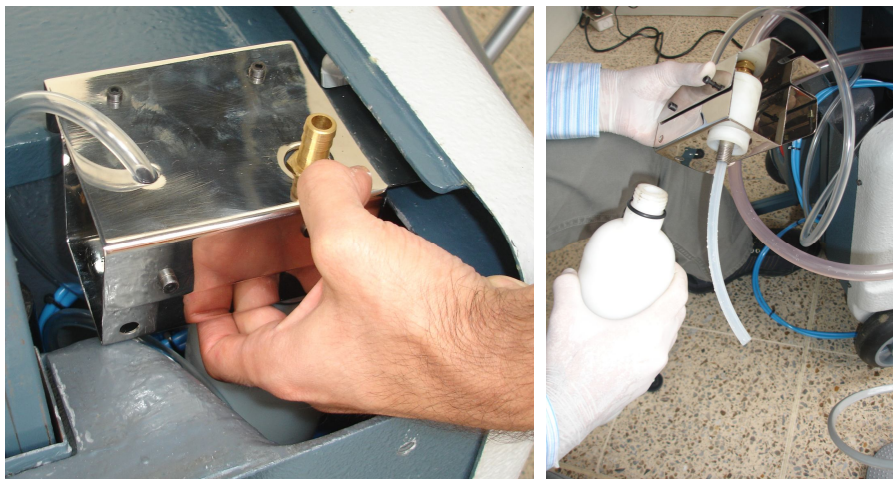


Fig. 53. Módulo de succión: desensamble y apertura

- Se debe cuidar de no derramar o salpicar las superficies circundantes. La unidad no cuenta con dispositivos de filtrado de sólidos. Estos se sedimentan dentro de la botella por lo que la limpieza de la botella debe garantizar la extracción segura de los residuos sólidos. El procedimiento de limpieza sigue las recomendaciones de los protocolos de limpieza de unidades odontológicas.

## **6.5. ENSAYOS Y PRUEBAS**

El prototipo alfa fue sometido a la verificación de las medidas asociadas a la especificación de diseño. Esta verificación fue llevada a cabo mediante una prueba de usuario y ensayos no destructivos. La tabla de verificación completa se encuentra en el anexo A64.

### **6.5.1. Prueba de usuario. EXPODENTAL 2008.**

EXPODENTAL Colombia es la feria del sector odontológico más grande que se celebra en el país anualmente. Entre el 18 y el 21 de septiembre de 2008 se reunieron expositores, fabricantes, estudiantes y profesionales de la odontología en un evento comercial y académico con más de 5000 visitantes y 125 stands en la ciudad de Medellín. <http://www.expodentalcolombia.com/>

En el marco de esta feria, el equipo de diseño participó como expositor durante las tres jornadas demostrando el modelo funcional a todos los visitantes. El resultado de esta exhibición fue una amplia recopilación de percepciones y opiniones respecto del modelo las cuales se encuentran en el anexo A63. A partir de esta recopilación se pudo completar la lista de chequeo de los requerimientos cuya verificación dependía de la retroalimentación por parte de los usuarios y el cliente.

### **6.5.2. Resultados de ensayos no destructivos.**

- **Sonometría.** Se llevaron a cabo mediciones con sonómetro del ruido emitido por el modelo durante su funcionamiento. Estas mediciones replicaron las condiciones de los ensayos realizados anteriormente sobre el compresor y las alternativas de gabinetes de cerramiento descritos en el capítulo de análisis de ingeniería y los anexos A37, A38 y A39.

En la Fig. 54 se muestran los resultados de la prueba del prototipo comparados con la medición realizada del compresor sin aislamiento. Se comprobó la efectividad del cerramiento, el cual fue calculado para la disminución cada vez mayor de ruido desde las frecuencias medias (250 Hz) hasta las altas.

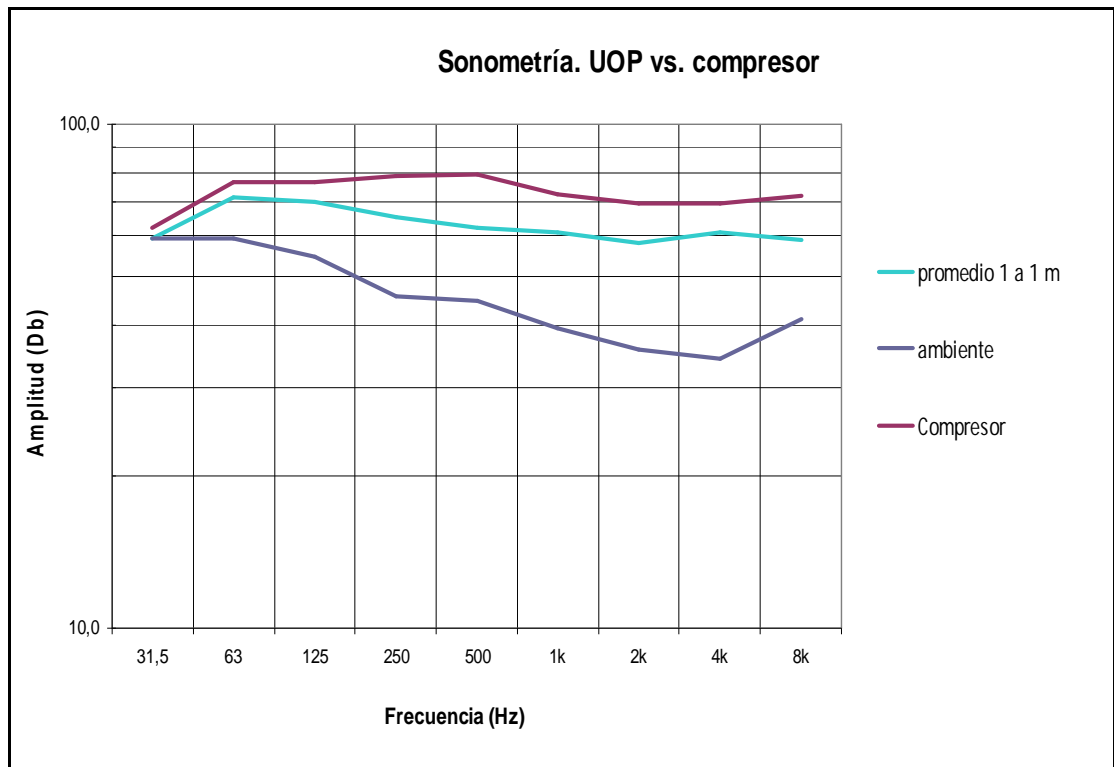


Fig. 54. Comparativo del espectro de ruido del prototipo alfa y el compresor sin aislamiento a un metro de distancia.

- **Cronometría.** Se tomaron los tiempos necesarios para la instalación normal y el desensamble de piezas para mantenimiento. La tabla 28 muestra los tiempos promedio tomados para cada operación.
- **Fotometría.** Se realizaron varias lecturas con luxómetro digital a diferentes distancias de la lámpara respecto de un papel de proyección. El resultado obtenido cumplió las expectativas de nivel de iluminancia en un rango limitado de distancia. El nivel máximo de iluminancia fue de 12200 lx a una distancia de 20 cm y se mantuvo por encima de 8000 lx hasta una distancia de aproximadamente 35 cm. Este rango de máxima iluminancia coincide con el punto focal de la lámpara a una distancia de 28 cm.
- **Manometría.** Se tomaron medidas con manómetro en las puntas de las mangueras de suministro para el módulo de bandeja. La prueba se realizó con el sistema de succión funcionando para determinar el nivel de pérdida debido al eyector. La manguera de suministro de las piezas de mano dio una lectura de entre 50 y 53 psi. La manguera de suministro de la jeringa triple y la botella de agua mostró 54 psi. Ambos registros superaron adecuadamente la verificación. Ver tabla 28.

Tabla 28. Cronometría de operaciones de instalación y desensamble.

ACCIÓN	DESCRIPCIÓN	TIEMPO PROMEDIO.
Instalación normal	Instalación de la unidad completa por una persona.	9 min 40 s.
Estabilizar la base	Procedimiento para ubicar y estabilizar la base sobre el piso inmediatamente después del transporte.	1 min 22 s.
Extraer componentes	Extraer el módulo de bandeja, brazo de bandeja, mangueras de suministro, terminales de evacuadores, lámpara y plato de acople del sillón.	2 min 11 s.
Sacar sillón y enganchar	Sacar el sillón plegado de la tula, desplegar el sillón, acoplar a la base y desasegurar el espaldar.	1 min 20 s.
Posicionar la lámpara	Desenganchar el brazo de la lámpara, acoplarlo al sillón y acoplar lámpara al brazo.	1 min 10s.
Posicionar bandeja	Acoplar brazo de bandeja y acoplar eje de botella al brazo.	1 min 50 s.
Conectar botella de agua		30 s.
Conectar mangueras	Acoplar piezas de mano y evacuadores.	1 min 20s.
Liberar botella de residuos	extraer módulo de succión y desenroscar	30 s.
Desensamblar compresor	Abrir cubierta de compresor, desenchufar, liberar mangueras y destornillar compresor.	7min 30 s.
Desensamblar bandeja	Destornillar soporte de holders.	40 s.
Abrir caja del mód bandeja	Destornillar soporte de holders y retirar eje de botella.	30 s.

- **Termometría.** Se midieron las temperaturas al interior del gabinete de aislamiento y en las superficies más calientes al tacto en un periodo de funcionamiento continuo de 23 minutos y 10 minutos de pausa. Igualmente se tomó la temperatura al aire a través de las mangueras de suministro. La temperatura pico de 47°C en el interior del gabinete se registró pasados los 20 minutos de operación.
- **Verificaciones dimensionales y de geometría.** La tabla 29 muestra las dimensiones tomadas directamente del modelo. Las dimensiones referentes a la iluminación describen el casquete esférico descrito por el movimiento del brazo y cuello de la lámpara. Los puntos máximos se ilustran en las Fig. 55 y 56 más abajo.

Tabla 29. Dimensiones verificadas.

DESCRIPCIÓN	MEDIDA.
Altura mínima del asiento sobre el suelo	560 mm.
Altura máxima del asiento sobre el suelo	810 mm.
Longitud del sillón	1850 mm.
Ancho máximo del sillón	520 mm.
Ángulo máximo del sillón	60
Iluminación en el plano transversal. Ángulo del semicírculo	90 de 360
Iluminación en el plano longitudinal. Ángulo del semicírculo	70 de 360

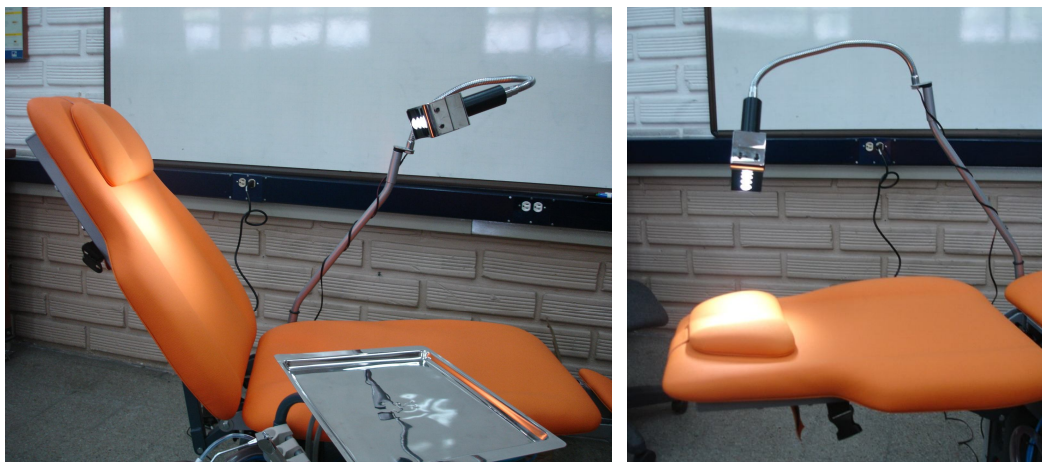


Fig. 55. Posiciones de la lámpara. Ángulos máximos en el plano longitudinal.

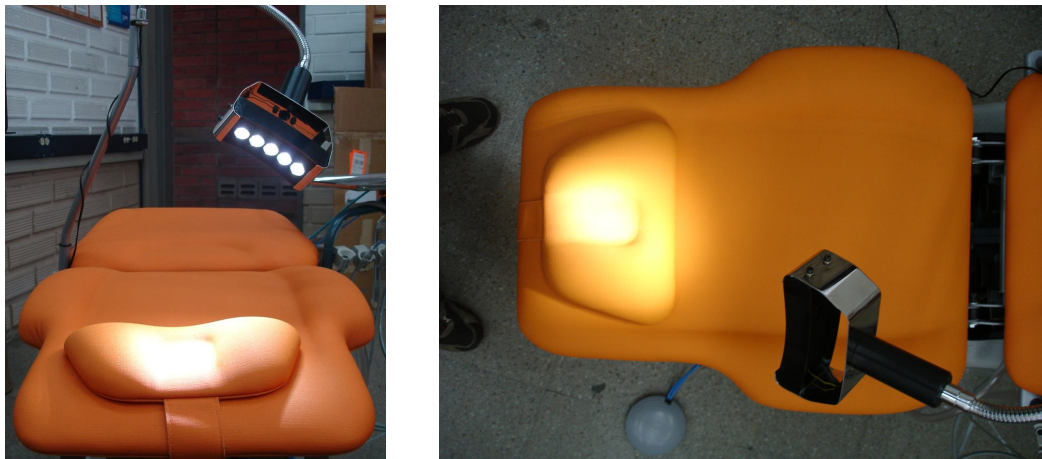


Fig. 56. Posiciones de la lámpara. Ángulos máximos en el plano transversal.

- **Peso.** La tabla 30 muestra el peso por componentes y el peso total. Esta verificación evidencia un sobre peso de la unidad respecto de las expectativas iniciales. En el capítulo de las conclusiones (capítulo 7) se hacen los análisis sobre este punto.

Tabla 30. Peso por componentes y peso total de la unidad.

COMPONENTE	DETALLE	PESO (GR)
Brazo de bandeja	Tubería de mueble cal 18	280
Otros base	Tornillos, válvulas, switches, pasacables, mangueras y cables.	500
Espaldar butaca	Lámina y tapizado	580
Sistema de succión	Botella residuos, mangueras, terminales, eje eyectores y lámina inox	980
Agarradera	Tubería de mueble cal 18	960
Sistema iluminación	Lámpara, lámina inox, sujetador, cuello de ganso y platina pie.	1.220
Extractor		840
Cubierta del compresor	Tapa de fibra de vidrio	1.000
Módulo de bandeja	Bandeja inox, eje botella, soporte con holders, jeringa triple y caja de válvulas.	1.860
Tapa carcasa	Tapa de fibra de vidrio	1.860
Par de ruedas		2.000
Patas y asiento de la butaca.	Tubería, corredera y tapizado.	4.260
Pata retráctil		1.020
Estructura base	Tubería de mueble cal 18 y 16.	3.900
Sistema de elevación sillón	columna, plato con platinas guía y bastón	4.920
Paneles fonoabsorbentes	Lana mineral de roca	5.000
Compresor	Compresor sin tornillos	8.820
Carcasa	Caras externas y láminas internas de fibra de vidrio y resina	11.380
<b>Total Fibra de vidrio</b>	<b>Carcasa y tapas</b>	<b>14.258</b>
<b>TOTAL BASE</b>	<b>Sumatoria de todas las piezas contenidas en la base para el transporte.</b>	<b>51.380</b>
<b>TOTAL SILLÓN</b>	<b>Sillón, brazo lámpara con tula y correas</b>	<b>15.480</b>
<b>TOTAL</b>		<b>66.860</b>

## 6.6. EFECTIVIDAD DEL DISEÑO - VERIFICACIÓN DE LA ESPECIFICACIÓN DE DISEÑO DE PRODUCTO

La efectividad del diseño es la medida porcentual del cumplimiento de la especificación de diseño de producto. Si bien la medida expresa la relación de lo alcanzado realmente respecto de lo esperado, la referencia de comparación (el 100 por 100) corresponde a un estado ideal de cumplimiento. La tabla 31 muestra los puntajes de referencia ideal y marginal así como el puntaje logrado y el porcentaje de efectividad respecto de los puntajes de referencia. La tabla 32 muestra la calificación y puntaje del modelo en los 15 requerimientos más importantes.

Tabla 31. Puntaje logrado y porcentaje de efectividad. Ver anexo 65 Tabla de verificación.

PUNTAJE IDEAL	1.160,0
PUNTAJE MARGINAL	696,0
<b>PUNTAJE LOGRADO</b>	<b>921,0</b>
<b>% EFECTIVIDAD IDEAL</b>	<b>79,4%</b>
<b>% EFECTIVIDAD MARGINAL</b>	<b>132,3%</b>
<b>% EFECTIVIDAD IDEAL EN EL "TOP 15"</b>	<b>82,7%</b>

Tabla 32. Calificación y puntaje de los 15 requerimientos más importantes. Anexo A64.

No.	Componente	Requerimiento	Tipo de requerimiento	Importancia	Calificación	Puntaje
1	General	Tiene un costo de producción competitivo	Costo	5,0	3	15
2	General	<b>Se fabrica con procesos de bajo costo a pequeña escala</b>	Procesos de manufactura	5,0	5	25
3	General	<b>Protege al paciente de las piezas móviles</b>	Seguridad	5,0	5	25
4	General	<b>Se transporta manipulado por una sola persona.</b>	Peso	5,0	0	0
5	General	<b>Permite el fácil y rápido desensamble de sus componentes para reparaciones.</b>	Mantenimiento	5,0	5	25
6	General	<b>Es fácil de manufacturar</b>	Facilidad de manufactura	5,0	5	25
7	Mod neumático	<b>Emite un nivel de ruido que no resulta irritante o fatigante.</b>	Ambiente	5,0	5	25
8	Sillón	Resiste el peso del paciente	Desempeño	5,0	3	15
9	General	Permite producción a pequeña escala	Volumen de producción	5,0	3	15

Continuación tabla 32

10	Sist. de succión	<b>Tiene un eyector de saliva que funciona sin necesidad de una señal de operación constante por parte del odontólogo.</b>	Desempeño	5,0	5	25
11	Sist. de succión	Tiene contenedores de desechos líquidos fáciles de liberar en el cambio normal.	Instalación	5,0	3	15
12	Sillón	<b>Es estable incluso con movimientos inesperados del paciente así como ante diferentes tallas de pacientes como niños, obesos, etc.</b>	Seguridad	5,0	5	25
13	Mod. neumático	<b>Permite una fácil reparación, por parte del odontólogo y practicante, de desajustes causados durante su uso en sitios remotos.</b>	Mantenimiento	5,0	5	25
14	General	<b>Reduce la probabilidad de infecciones cruzadas</b>	Seguridad	5,0	5	25
15	Mod. neumático	<b>Provee una alimentación correcta a las piezas de mano</b>	Desempeño	5,0	5	25

Capítulo 7

# Conclusiones y recomendaciones.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Las conclusiones que a continuación se presentan, hacen referencia a tres aspectos específicos directamente relacionados con la ejecución del proyecto. El primer aspecto trata sobre el cumplimiento de los objetivos del proyecto, segundo sobre la metodología y el último se refiere a los resultados de la verificación de la especificación de diseño de producto. Finalmente, se mencionan los posibles pasos a seguir para la implementación del diseño.

### **7.1. CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO**

El elemento más relevante planteado dentro del objetivo general fue la necesidad de crear un producto con valor agregado para el mercado nacional y de la región (capítulo uno). El proyecto desarrollado pretendió entonces generar las condiciones de posibilidad de este elemento, o dicho de otro modo, generar los atributos primordiales que posibilitaran con mayor grado el posterior éxito del producto dentro del mercado. En este aspecto, se considera que se lograron estas condiciones de posibilidad dentro de los límites metodológicos y de recursos. El cumplimiento de los objetivos específicos se evidencia en el seguimiento de la metódica de diseño planteada y en la aplicación de las diferentes herramientas seleccionadas para cada fase del proyecto.

### **7.2. SOBRE LA METODOLOGÍA DE DESARROLLO APLICADA**

Uno de los aspectos centrales de la ingeniería de diseño de producto hace referencia a la implementación eficiente de los recursos y herramientas disponibles para el desarrollo y posterior lanzamiento de productos al mercado. De esta forma, la metodología implementada se fundamentó en el proceso de cristalización de las necesidades del consumidor a través del uso de los recursos de la ingeniería. El cumplimiento de la metodología esta dado entonces en la coherencia y efectividad de los resultados reportados en el presente informe y que se derivan de la aplicación de las herramientas referenciadas.

#### **7.2.1. Atributos positivos de la metodología implementada.**

La metodología aplicada se destaca por los siguientes aspectos:

- Privilegio de las fuentes de información primarias (cliente, usuarios y competencia) para la toma de decisiones a lo largo del proceso de diseño. El resultado es un diseño justificado y ajustado al mercado particular.

- Implementación *paso a paso* de las herramientas de investigación cualitativa para el conocimiento del modo de ser del usuario. Esto permitió el establecimiento inicial de requerimientos, la selección y posterior prueba de usuario del modelo final de forma asertiva.
- Aplicación de la especificación de diseño de producto como mapa guía durante todo el proceso de manera dinámica. Esto permitió tener criterios claros de selección de las herramientas de análisis de ingeniería implementadas así como de evaluación de soluciones de diseño.
- Exploración y evaluación de soluciones mediante la construcción de modelos físicos de componentes desde las etapas prematuras de la generación de alternativas. De esta manera se pudo optimizar el proceso de evaluación y selección de soluciones, arquitectura y detalles.
- Uso intensivo de modelos virtuales CAD/CAE. El resultado fue un acercamiento realista y detallado para la optimización de la solución de diseño.
- Revisión constante de las decisiones de diseño en contraste con los atributos de los productos competidores. El resultado es un diseño que aprovecha las oportunidades con base en las fortalezas y debilidades de los atributos de los productos ofertados en el mercado.

### **7.2.2. Recomendaciones sobre la metodología.**

Los atributos descritos señalan las cualidades encontradas recomendables para otros proyectos académicos, sin embargo su eficacia reside también en las características propias del tipo de producto seleccionado, en este caso, un producto complejo desde el punto de vista de la integración de soluciones a múltiples problemas de diseño.

Por otro lado, el punto débil detectado en algunos momentos del desarrollo del proyecto consistió en la falta de criterios suficientes para determinar a priori cuáles de las herramientas disponibles eran más eficaces en una etapa particular del proyecto. Como consecuencia, algunas etapas del proceso tomaron más tiempo en producir resultados útiles debido a la prueba en falso de herramientas prescindibles. En específico se reportan a continuación las herramientas descartadas, sus inconvenientes y se sugieren recomendaciones particulares.

- Elaboración de análisis conceptual (análisis de flujos de energía, materia e información). En un conjunto de funciones no conectadas estrictamente por la

naturaleza de sus flujos, esta herramienta resulta poco provechosa. En lugar de esto, la generación de un árbol de funciones a partir de ciertos requerimientos y contextos de uso establecidos en la especificación preliminar permitió subordinar las funciones del producto sin necesidad de conectar flujos objetivos.

- Búsqueda y generación de portadores de función individuales como paso inicial de la etapa de conceptualización. Si bien no se descarta la búsqueda de portadores individuales, lo que resultó inconveniente fue su búsqueda en forma preliminar sin tener en cuenta la generación de conceptos de arquitectura e integración en forma paralela. El resultado fue un proceso que consumió gran cantidad de tiempo debido a la cantidad de funciones principales que debían ser exploradas. Finalmente, la búsqueda de portadores se realizó satisfactoriamente como paso posterior a la formulación de conceptos arquitectónicos-funcionales que resolvieran cada uno de forma diferente el problema de la integración de componentes y la versatilidad en contextos de uso completamente diferentes (operación, transporte, almacenamiento y mantenimiento).
- Selección de conceptos a partir de matrices de evaluación con información secundaria. La elaboración de matrices para un grupo relativamente grande de portadores de funciones individuales fue dispendiosa y su evaluación con información secundaria (normas y estándares) no generó confianza en los resultados. En lugar de evaluar cada función, se decidió sintetizar un grupo pequeño de alternativas-solución al problema global y evaluarlas directamente con los usuarios y cliente mediante una prueba de conceptos. Este método de selección del concepto se conoce también como de *decisión externa* en contraste con la *decisión por matrices* (Ulrich y Eppinger, 2004: 125)

### **7.3. VERIFICACIÓN DE LAS EXPECTATIVAS PLANTEADAS**

#### **7.3.1. Principios de diseño.**

El modelo final cumplió con los principios de diseño implícitos considerados desde el planteamiento del proyecto. Uno de los principios de diseño más importantes corresponde a la integración de funciones y componentes. Su importancia es consecuencia del análisis de la categoría de *producto portátil* mediante el cual se establecieron los múltiples contextos de interacción del producto y sus funciones.

#### **7.3.2. Efectividad del diseño.**

El diseño de producto planteado es considerado como satisfactorio dado el porcentaje de efectividad ideal alcanzado del 79,4%. Se debe tener en cuenta la satisfacción en un 82,7% de los 15 requerimientos más importantes, lo cual demuestra la concentración de esfuerzos de diseño en el tope de la especificación de producto. En el numeral 6.6 se describen los resultados con más detalle.

### **7.3.3. Sobre el equilibrio en el cumplimiento de requerimientos.**

La complejidad del diseño logrado reside tanto en la integración de soluciones simples en su naturaleza individual como en la interacción de estas soluciones en los múltiples contextos de usuario. Ver anexo A26 sobre la clarificación del problema. La acometida de esta complejidad implicó un esfuerzo constante por equilibrar los requerimientos con frecuencia contradictorios.

Ya desde las etapas prematuras de la generación del concepto, el abordaje de problemas como el mejoramiento de la calidad de la iluminación, la eliminación del ruido del compresor y la reducción del peso, resultaron ser desafiantes ante la necesidad de conservar un costo de producción dentro de los límites iniciales establecidos por el cliente.

Si bien la revisión costo / beneficio desarrollada al final de las etapas intermedias permitió ampliar el rango de costos, el concepto final debió guardar una posición conservadora respecto de las soluciones posibles a los problemas. En específico, se decidió utilizar la forma más barata disponible para la reducción del ruido del compresor, a pesar incluso de no ser explícitamente la solución más liviana<sup>3</sup>. Dicho de otro modo, se decidió satisfacer el costo esperado dentro del rango marginal dejando en suspenso la satisfacción del peso esperado. Ahora bien, los antecedentes que respaldan esta decisión se hallan en la prueba de concepto realizada con usuarios para la selección del concepto básico. Anexo A33. En esta prueba se obtuvo una lectura de la percepción de los encuestados ante tres alternativas yuxtapuestas, cada una con un deliberado balance de atributos positivos y negativos, como se muestra en el Cuadro 27.

---

<sup>3</sup> El aislamiento del ruido por cerramientos implica una relación directa entre la masa de las paredes y la efectividad del aislamiento. Ver anexo A36.

Cuadro 27. Lectura de la percepción sobre el peso durante la prueba de concepto.

	Atributos positivos / negativos	Percepciones observadas
Alternativa A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos volumen para transportar.</li> <li>• menos componentes.</li> <li>• poco aislamiento de ruido.</li> <li>• Inestabilidad.</li> </ul>	A pesar de tener menos elementos voluminosos (no tiene brazo de lámpara ni de bandeja y el compresor ocupa un espacio mínimo) la recepción entre los encuestados fue más bien fría.
Alternativa B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Más voluminoso y pesado.</b></li> <li>• mejor aislamiento del ruido.</li> <li>• Estabilidad.</li> </ul>	A pesar de ser el más pesado ocupó el <b>primer puesto debido a sus atributos claves en el contexto de operación.</b>
Alternativa C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>El menos pesado.</b></li> <li>• más difícil de instalar.</li> <li>• Inestable.</li> </ul>	A pesar de ser el más liviano ocupó el <b>último puesto debido a la pobreza de los atributos en el contexto de operación.</b>

Como se muestra en el cuadro anterior y en la Fig. 19 (resultados selección de alternativas. Página 50) los encuestados marcaron un favoritismo mayor por aquellos atributos relacionados con el contexto de operación sobre aquellos referentes al contexto de transporte como el peso y volumen. De esta manera, fue entonces necesario revisar el concepto del *producto portátil* de forma tal que se privilegiaran los atributos claves de confort en el contexto de operación, como lo es la reducción del ruido, en lugar hacerlo con el primero de los atributos típicamente atribuibles al *producto portátil* como lo es el bajo peso. El otro atributo, el volumen, se pudo mantener dentro de los límites esperados implementando un diseño en donde el volumen total se dividiera en dos partes más manejables.

#### 7.4. PASOS SIGUIENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO

La realización del diseño de producto en un modelo funcional correspondió a un primer acercamiento integral hacia el producto final. De esta manera, se hace necesario un siguiente paso intermedio en este acercamiento en la forma de un prototipo beta. Este prototipo y el diseño en general deberán someterse a los siguientes requerimientos:

- Optimizar la función de soporte de las cargas dinámicas a las que se somete la unidad con el fin de reducir la masa de los elementos portantes. Para esto, el prototipo beta, a diferencia del actual, deberá ser apto para la verificación mediante pruebas destructivas del comportamiento ante las cargas.

- Disminuir la relación costo / beneficio esperada del producto final bien sea incrementando los beneficios y / o explorando modos más económicos de realizar el producto. Esto último se puede lograr buscando proveedores con mejor oferta, reemplazando piezas sobre diseño por piezas estándar y optimizando el material de los elementos portantes como la carcasa.
- Monitorear mediante técnicas de investigación de mercados, el estatus de los atributos tangibles ofrecidos por el producto diseñado. Para este monitoreo se recomienda la herramienta del mapeo de atributos implementada a comienzo del proyecto (numeral 3.1.3.). Ésta, permite la valoración, en diferentes niveles, de los atributos del producto respecto de la competencia, de forma que se puedan tomar decisiones como por ejemplo, la eliminación de un atributo particular catalogado como neutral con el fin de reducir costos y masa.

En términos de mercadeo, se debe desarrollar una comprensión más profunda del segmento de mercado emergente en el país constituido por profesionales que ofrecen atención domiciliaria urbana de *alto perfil*. Sin abandonar el núcleo de mercado para el cual fue diseñado el producto, éste deberá procurar satisfacer el segmento mencionado en tanto posee ya las condiciones de estilo y comodidad apropiadas<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Esta valoración fue desarrollada en un principio durante la revisión de concepto con el cliente y luego corroborada durante la exhibición del modelo en Expodental 2008.

## BIBLIOGRAFÍA

BAXTER, Mike. Product Design : Practical Methods for Systematic Development of New Products. Londres : Chapman & Hall. 1995.

BRALLA, James. Manual de diseño de producto para manufactura : Guía práctica para producción a bajo costo. México : McGraw Hill. 1993.

DYM, Clive y LITTLE, Patrick. El proceso de diseño en ingeniería : Cómo desarrollar soluciones efectivas. México : Limusa Wiley, 2005.

GROOVER, Mikell. Fundamentos de manufactura moderna : Materiales, procesos y sistemas. México : Prentice Hall, 1997.

MCDANIEL, Carl y GATES, Roger. Marketing Research Essentials. 5ed. Estados Unidos de América : John Wiley & Sons, 2006.

MCGRATH, Rita Gunther y MACMILLAN, Ian. The entrepreneurial mindset : Strategies for Continuously Creating Opportunity in an Age of Uncertainty. Estados Unidos de América : Harvard Business School Press, 2000.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Odontología : Sillas de uso odontológico. Bogotá : ICONTEC, 2001. (NTC 2256)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Odontología : Butacos para uso odontológico. Bogotá : ICONTEC, 2003. (NTC 2283)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Odontología : Unidades dentales. Bogotá : ICONTEC, 2006. (NTC 5448)

INTERNATIONAL STANDARD. Dentistry : Operating lights. Génova : 2007. (ISO 9680:2007)

INTERNATIONAL STANDARD. Dental equipment : High and medium volume suction systems. Génova : 1999. (ISO 10637:1999)

PUGH, Stuart. Total Design : Integrated Methods for Successful Product Engineering. Harlow : Addison Wesley, 1991.

SOLOMON, Michael. Comportamiento del consumidor. 7ed. México : Pearson Educación, 2008.

ULRICH, Karl y EPPINGER, Steven. Product Design and development. 3ed. New York : McGraw Hill, 2004.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Abreu, O. Pousa, M. y Scotti, K. (2007). *Protocolo de asepsia para el consultorio odontológico*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.odontologia-online.com/estudiantes/trabajos/oa/oa02/oa02.html>. Último acceso: 2 Marzo 2008.

Asamblea Nacional Constituyente. (1991). *Constitución Política de Colombia*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.mincultura.gov.co/eContent/library/documents/DocNewsNo227DocumentNo356.PDF>. Último acceso: 13 de Octubre de 2007.

Calorcol. (2008). *Catalogo de productos*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.calorcol.com/>. Último acceso: 14 Abril 2008.

Congreso de la República. (1993). *Ley 100 de 1993*. [Documento electrónico]. Disponible en: [http://www.secretariasenado.gov.co/leyes/L0100\\_93.HTM](http://www.secretariasenado.gov.co/leyes/L0100_93.HTM). Último acceso: 13 de Octubre de 2007.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2003). *Encuesta Nacional de Calidad de Vida*. [Documento electrónico]. p. 25. Disponible en: [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones\\_vida/calidad\\_vida/Presentacion\\_nov25boletin.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/calidad_vida/Presentacion_nov25boletin.pdf) Último acceso: 13 de Octubre de 2007.

Dürr technik. (2008). *KK70 Series*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.duerr-technik.de/eng/Download.aspx?docID=593>. Último acceso: 20 Abril 2008.

Ejército Nacional de Colombia. (2007). *Departamento de Acción Integral de Comando Ejército*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.ejercito.mil.co/index.php?idcategoria=188974>. Último acceso: 20 de Octubre de 2007.

Federación Odontológica Colombiana. (2007). *Facultades de Odontología*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://encolombia.com/odontologia/foc/Foc-Decanos.htm>. Último acceso: 13 de Octubre de 2007.

Gobierno de Navarra. (2004). *Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos particulares dorsolumbares para los trabajadores*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.cfnavarra.es/insl/doc/legislacion/Manipulaci%C3%B3nCargas.pdf> Último acceso: 2 Marzo 2008

Gómez, B. (1999). *Ergonomía en la práctica de la estomatología*. Venezuela: Universidad Santa María. p9-14

Iruretagoyena, M. (2007). *Concepto de ergonomía en la consulta dental*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.sdpt.net/par/cuatromanos.htm>. Último acceso: 2 Marzo 2008.

Isover. (2008). *Acústica: absorbentes*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.isover.net/>. Último acceso: 11 Abril 2008.

Jun air. (2008). *oilless catalog*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.jun-air.com/sw7952.asp>. Último acceso: 28 Abril 2008.

Ministerio del Medio Ambiente, vivienda y desarrollo territorial (2006). *Resolución 627 de 2006*. Bogotá: El ministerio. p1-30.

Monsalve, N y Ortiz, E (2007). *Encerramiento acústico*. Medellín: s.p.i.. p3-22.

Nakanishi Inc (2007). *Catálogo NSK*. Tokyo: NSK. p35-39.

Organización Internacional del Trabajo. (1967). *Convenio OIT 127 : Relativo al peso máximo de carga que puede ser transportada por un trabajador*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.cesdepu.com/instint/oit127.htm>. Último acceso: 2 Febrero 2008.

Organización Mundial de la Salud. (2004). *La OMS publica un nuevo informe sobre el problema mundial de las enfermedades bucodentales*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2004/pr15/es/index.html>. Último acceso: 12 de Octubre de 2007.

Organización Mundial de la Salud. (2005). *Nota informativa N 290, La OMS y los Objetivos de Desarrollo del Milenio*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs290/es/index.html>. Último acceso: Octubre 12 de 2007.

Organización Panamericana de la Salud. (1998). *La Salud en las Américas*. [Documento electrónico]. 1, p.202-203 Disponible en: <http://www.paho.org/Spanish/DD/PUB/SEA1998.pdf>. Último acceso: 12 de Octubre de 2007.

Ortiz, N. (2002). *Tiempos de trabajo en odontología*. [Documento electrónico]. Disponible en: [www.odontomarketing.com/articulos/art52.htm](http://www.odontomarketing.com/articulos/art52.htm). Último acceso: 16 Enero 2008.

Panero, J y Zelnik, M. (2002). *Las dimensiones humanas en los espacios interiores : estándares antropométricos*. México : G.Gili.

Phillips Lumileds. (2008). *Solid State Lighting*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.philipslumileds.com/>. Último acceso: 3 Marzo 2008.

Pneumatica. (2006). *Course Pneumatics*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.pneumatics.be/>. Último acceso: 9 Febrero 2008.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2006). *Human Development Report*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://hdr.undp.org/hdr2006/statistics/>. Último acceso: 13 de Octubre de 2007.

Schätz, H. (2002). *Conceptos ergonómicos básicos en odontología*. [Documento electrónico]. Disponible en: [www.odontomarketing.com/ergonomia/03.htm](http://www.odontomarketing.com/ergonomia/03.htm). Último acceso: 18 Enero 2008.

Schmalz. (2008). *Técnica de vacío*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.vacuworld.com/es/index.html.es>. Último acceso: 20 febrero 2008.

Schon, F y Schwartz, B (1973). *Trabajo en equipo en la práctica odontológica*. Alemania: Quintessence. p17-33.

Senco. (2008). *SpecsPC1010*. [Documento electrónico]. Disponible en: [http://www.senco.com/con\\_rem/ViewTool.aspx?toolid=175](http://www.senco.com/con_rem/ViewTool.aspx?toolid=175). Último acceso: 25 Abril 2008.

Servicio Odontológico Hospital El Carmen. (2002). *Requerimientos de la unidad odontológica*. [Documento electrónico]. Disponible en: [http://pdf.rincondelvago.com/odontologia\\_1.html](http://pdf.rincondelvago.com/odontologia_1.html). Último acceso: 13 de Octubre de 2007.

Silent aire. (2008). *Oilless compressors*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.silentaire.com/silentaire/oilless.asp>. Último acceso: 26 Abril 2008.

Thomas Compressors. (2008). *Oilless series*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.rtpumps.com/rtpumps/us/she/en/home.nsf>. Último acceso: 25 Abril 2008.

Universidad del País Vasco. (2008). *Aislamiento Acústico*. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.ehu.es/acustica/espanol/ruido/aiaces/aiaces.html>. Último acceso: 10 Abril 2008.

Vargas, O (2000). *Aproximación al sonido*. Medellín: U.P.B. p 1-11.

## **LISTA DE ANEXOS EN FORMATO ELECTRÓNICO**

- A1. Descripción detallada de componentes.
- A2. Tabla final de verificación de la especificación de diseño.
- A3. Descripción fotográfica de la unidad actual.
- A4. Planteamiento general de la investigación de usuarios.
- A5. Informe de entrevistas no estructuradas.
- A6. Cuestionario: Prueba de actitudes y percepciones.
- A7. Tabulación: Prueba de actitudes y percepciones.
- A8. Análisis de resultados: Prueba de actitudes y percepciones.
- A9. Diseño de encuesta para odontólogos.
- A10. Cuestionario: Encuesta para odontólogos.
- A11. Tabulación: Encuesta para odontólogos.
- A12. Análisis de resultados: Encuesta para odontólogos.
- A13. Diseño de encuesta para personal de logística y mantenimiento.
- A14. Cuestionario: Encuesta a personal logística y mantenimiento.
- A15. Tabulación: Encuesta a personal logística y mantenimiento.
- A16. Análisis de resultados: Encuesta personal logística y mantenimiento.
- A17. Lista completa de necesidades del usuario y personal de apoyo y logística.
- A18. Informe de visita a fabricantes nacionales de unidades portátiles.
- A19. Planteamiento general de la investigación por fuentes secundarias.
- A20. Estado del arte.

- A21. Estándares legales y prácticos de la operatoria odontológica y otras disposiciones.
- A22. Búsqueda de referentes y lenguaje de producto.
- A23. Lista de requerimientos encontrados en la literatura y análisis de la competencia.
- A24. Sobre la generación de la especificación de producto preliminar.
- A25. Sobre la generación del concepto.
- A26. Sobre la clarificación del problema.
- A27. Árbol de funciones de la unidad odontológica portátil.
- A28. Esquemas y dibujos preliminares de las alternativas de concepto.
- A29. Diseño de la prueba de concepto.
- A30. Cuestionario: Prueba de concepto
- A31. Presentación de las tres alternativas preliminares.
- A32. Tabulación: Prueba de concepto.
- A33. Análisis de resultados: Prueba de concepto.
- A34. Esquemas y dibujos de desarrollo del concepto seleccionado.
- A35. Comparación de compresores (silenciosos y no silenciosos).
- A36. Técnica de cerramiento acústico.
- A37. Memoria de cálculo: Dimensionamiento de las alternativas de cerramiento acústico.
- A38. Tablas de sonometrias: compresor y comparativo de gabinetes.
- A39. Selección comparativa del cerramiento acústico.
- A40. Desarrollo de maquetas y modelos físicos de componentes.
- A41. Técnica de vacío.

- A42. Tabla de pruebas comparativas de eyectores tipo venturi.
- A43. Desarrollo de esquemas de circuitos eléctricos.
- A44. Desarrollo de esquemas de circuitos neumáticos.
- A45. Desarrollo de modelos virtuales del concepto seleccionado.
- A46. Revisión con el cliente: costo/beneficio.
- A47. Sobre la definición de la especificación de diseño de producto final.
- A48. Tabla completa de la Especificación de diseño de producto.
- A49. Esquemas y dibujos del modelo final.
- A50. Desarrollo de modelaciones virtuales de alternativas del modelo final.
- A51. Memoria de cálculo: análisis de elementos finitos.
- A52. Análisis de mecanismos.
- A53. Exploración gráfica del modelo.
- A54. Memoria de cálculo: determinación de la ruta crítica.
- A55. Desarrollo de moldes.
- A56. Descripción fotográfica del proceso de fabricación.
- A57. Tabla de materiales, partes y procesos.
- A58. Tabla de costos y proveedores.
- A59. Planos.
- A60. Manual de usuario.
- A61. Esquema final de circuito neumático.
- A62. Esquema final de circuito eléctrico.

A63. Prueba de usuario: Exponential 2008.

A64. Pruebas de verificación de la especificación de diseño.

A65. Tabla de sonometría del cerramiento acústico en el prototipo alfa.

A66. Datos unidad odontológica actual.