



**CORTADORA DE PROBETAS DE MATERIAL BITUMINOSO EN LA
CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN ASFALTOS,
CORASFALTOS.**

**JOSÉ MANUEL CÁRDENAS CÓRDOBA
OSCAR ALBERTO MEJÍA RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2016**



**CORTADORA DE PROBETAS DE MATERIAL BITUMINOSO EN LA
CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN ASFALTOS,
CORASFALTOS.**

**JOSÉ MANUEL CÁRDENAS CÓRDOBA
OSCAR ALBERTO MEJÍA RODRÍGUEZ**

**Proyecto de grado para optar al título de
Diseñador Industrial**

**Director:
EDGAR AUGUSTO SARMIENTO LEON
Diseñador Industrial, MS.c**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2016**

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2. JUSTIFICACIÓN	22
3. OBJETIVOS	26
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
4. METODOLOGÍA PROYECTUAL.....	27
4.1 FASE I: ETAPA DE INVESTIGACIÓN: IDENTIFICAR LOS FACTORES DE RIESGO Y LAS ESPECIFICACIONES DE LA CORTADORA.	27
4.2 FASE II: ETAPA CREATIVA O DE DISEÑO CONCEPTUAL: DETERMINAR ESTRATEGIAS PARA GARANTIZAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS Y NORMATIVOS.	28
4.3 FASE III: DISEÑO DE INGENIERÍA.....	28
4.4 FASE IV: DISEÑO DE DETALLE.	28
4.5 ACTIVIDADES SEGÚN LA METODOLOGÍA.....	29
5. MARCO TEÓRICO.....	31
5.1 MATERIAL BITUMINOSO.....	31
5.2 PRUEBAS EN LOS LABORATORIOS DE CORASFALTOS	32
5.3 LA ERGONOMÍA COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO	33



5.3.1	Uso de equipos en posición de pie	33
5.3.2	Area de Trabajo	34
5.3.3	Altura del plano de trabajo	35
5.3.4	Tipo de trabajo a realizar	36
5.3.5	Datos antropométricos de los operarios de la cortadora	37
5.4	RUIDOS, VIBRACIONES Y EMISIONES EN CORASFALTOS	38
5.4.1	Ruido presente en Corasfaltos	39
5.4.2	Vibraciones presentes a causa del corte	39
5.4.3	Emisiones volátiles en la Corporación	39
5.5.	SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL	40
6.	FASE I: ETAPA DE INVESTIGACIÓN: IDENTIFICAR LOS FACTORES DE RIESGO Y LAS ESPECIFICACIONES DEL CORTE DE MATERIAL BITUMINOSO EN CORASFALTOS.	43
6.1	OBSERVACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DE LAS OPERACIONES DE CONTROL Y CORTE.	43
6.2	EVALUACION POSTURAL	45
6.3	IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS TÉCNICOS DEL EQUIPO DE CORTE.	47
6.3.1	Niveles de Ruido	48
6.3.2	Emisiones Volátiles.	48
6.3.3	Vibraciones.	49
6.4	ENCUESTAS A PERSONAL ENCARGADO DE CORTE DE MUESTRAS 499	
6.4.1	Conclusiones generales del proceso de corte en Corasfaltos.	49
6.5	ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE EQUIPOS CORTE	52
6.5.1	Cortadora HEELT SRL	52
6.5.2	Cortadora FECON FC-16.	53

6.5.3	Cortadora Prime 120S	54
6.6	CONCLUSIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LOS EQUIPOS CORTE.....	55
6.7	REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DE LA CORTADORA DE MATERIAL BITUMINOSO.....	55
7.	FASE II: ETAPA DE DISEÑO CONCEPTUAL	58
7.1	DETERMINAR LAS ESTRUCTURAS FUNCIONALES.....	58
7.1.1	Corte de Material Bituminoso.	58
7.1.2	Alineación y posicionamiento de probetas.	68
7.1.3	SUJECCIÓN DE BLOQUES Y PROBETAS DE MATERIAL BITUMINO	69
7.1.4	Desplazamiento para el corte.....	71
7.1.5	Control de funciones.	74
7.1.6	Parada de seguridad.....	75
7.1.7	Diagrama funcional de la cortadora.	76
7.2	CONCEPTOS DE SOLUCIÓN DE LA CORTADORA	79
7.3	DEFINIR Y COMBINAR CONCEPTOS DE SOLUCIÓN	79
7.3.1	Generación de alternativas.....	80
7.3.2	Evaluación de alternativas según los requerimientos.....	82
7.3.3	Combinar variantes de conceptos de solución	83
7.3.4	Alternativas resultantes.....	84
7.3.5	Evaluación de alternativas A y B : requerimientos de aspecto económico..	85
7.3.6	Tipo de motor que se pueden implementar en la cortadora	86
8.	FASE III: DISEÑO DE INGENIERÍA.....	89
8.1	DISEÑO PRELIMINAR DE CORTADORA DE MATERIAL BITUMINOSO PARA REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS EN LA PRIMERA FASE.....	89
8.2	COMPLETAR Y OPTIMIZAR LOS DISEÑOS PRELIMINARES DEL CONCEPTO DE LA CORTADORA DE MATERIAL BITUMINOSO.....	89
8.3	VERIFICAR	91
8.3.1	Cálculos estáticos en las principales partes de la cortadora	91

8.3.2	ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS DE LA CORTADORA.	98
8.4	PREPARAR LISTA DE PARTES Y LOS PLANOS DE PRODUCCIÓN	107
8.4.1	Lista de piezas de la maquina	107
8.4.2	Cotización de materiales y procesos de producción.....	107
8.5	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE.....	108
9.	FASE IV: ETAPA DE COMPROBACIÓN	110
9.1	COMPROBACIÓN TÉCNICA.....	110
9.1.1	Comprobación de los componentes de la cortadora	110
9.2	COMPROBACIÓN ERGONÓMICA.....	115
9.2.1	Objetivo de la comprobación	115
9.2.2	Lugar de la prueba	115
9.2.3	Sujetos de prueba.....	115
9.2.4	Recursos.....	116
9.2.5	Proceso de la comprobación.....	116
9.2.6	Análisis postural.....	118
9.2.7	Encuesta.....	120
10.	CONCLUSIONES.....	122
11.	RECOMENDACIONES	125
	BIBLIOGRAFIA	126
	ANEXOS	129

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1: Muestra tipo viga, 5x5x39cm	19
Figura 2: Equipo adaptado para el corte de muestras.....	19
Figura 3: Emisiones causadas por el motor y el corte del material	20
Figura 4: Área de trabajo.	35
Figura 5: Uso de máquinas en posición de pie	36
Figura 6: Altura en cm del plano de trabajo	37
Figura 7: Proceso de control y corte de probetas.....	44
Figura 8: Postura del operario durante el uso del equipo. (a) Transporte de bloques, (b) Descargue de bloques, (c) Corte del material.....	46
Figura 9: Hoja de campo de aplicación REBA, del uso del equipo adaptado para el corte de probetas de material bituminoso en Corasfaltos.	47
Figura 10: Proceso de corte por cizallamiento	59
Figura 11: Disco diamantado para corte de asfalto y hormigón.....	60
Figura 12: Proceso de corte láser	61
Figura 13: Discos diamantados para asfalto y hormigón.....	62
Figura 14: Análisis dinámico del disco diamantado	64
Figura 15: Diagrama funcional de cortadora de material bituminoso en Corasfaltos	78
Figura 16 Alternativas de distribución de los sistemas funcionales dentro y fuera de la cortadora de material bituminoso en Corasfaltos	79
Figura 17: Captura de pantalla, modelado CAD de la cortadora	90
Figura 18: Captura de pantalla, vista explosionada de la cortadora	90
Figura 19: Diagrama de fuerzas del eje del disco	91
Figura 20: Diagrama de fuerzas de la estructura	92
Figura 21: Diagrama de fuerzas de la base de la mesa de trabajo.....	93
Figura 22: Cargas de la estructura (fuente, autores).	95
Figura 23: Diagrama de esfuerzos del perfil crítico de la estructura	95
Figura 24: Personal encargado del corte de probetas.....	116



Figura 25: Postura del operario durante el uso de la cortadora. (a) Transporte de bloques, (b) Descargue de bloques, (c) Corte del material. 119

Figura 26. Hoja de campo de aplicación REBA, del uso de la cortadora de probetas de material bituminoso en Corasfaltos (fuente, autores). 120

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1: Actividades programadas para el desarrollo del proyecto	30
Tabla 2: Motor Honda GX390 13,0.	45
Tabla 3: Encuesta inicial a los operarios de la máquina de corte	50
Tabla 4: Cortadora HEELT SRL.....	52
Tabla 5: Cortadora FECON FC-16.....	53
Tabla 6: Cortadora PRIME 120s	54
Tabla 7: Determinación de requerimientos de la cortadora de material bituminoso.....	57
Tabla 8: Comparación de técnicas de corte de material bituminoso.....	61
Tabla 9: Transmisión de potencia para cortar bloques de material bituminoso	65
Tabla 10: Alineación y posicionamiento de bloques de material bituminoso.	68
Tabla 11: Sujeción de bloques de material bituminoso.	69
Tabla 12: Alineación y sujeción de bloques de material bituminoso	70
Tabla 13: Conceptos de desplazamiento de bloques de material bituminoso.	71
Tabla 14: Movimiento de desplazamiento de bloques de material bituminoso	72
Tabla 15: Mecanismos de desplazamiento de bloques de material bituminoso	73
Tabla 16: Control de funciones de la cortadora.....	73
Tabla 17: Parada de seguridad de la cortadora de material bituminoso	75
Tabla 18: Alternativa de solución 1	76
Tabla 19: Alternativa de solución 2	80
Tabla 20: Alternativa de solución 3	80
Tabla 21: Alternativa de solución 4	81
Tabla 22: Evaluación de alternativas 1 a 4, según requerimientos.....	81
Tabla 23: Matriz morfológica de combinación de alternativas.	82
Tabla 24: Alternativa Resultante A.....	83
Tabla 25: Alternativa Resultante B.....	84
Tabla 26: Evaluación de alternativas A y B, según requerimientos	84
Tabla 27: Evaluación de alternativas A y B, según otros aspectos.....	85

Tabla 28: Corriente de consumo y protección de motor a 115v, 220v y 440v de tensión .	86
Tabla 29: Cálculos estáticos del eje del disco	87
Tabla 30: Cálculos estáticos de la estructura.....	92
Tabla 31: Cálculos estáticos de la base de la mesa de trabajo	93
Tabla 32: Cálculos estáticos del perfil crítico de la estructura	94
Tabla 33: Selección de rodamientos para el eje del disco.....	96
Tabla 34: Selección de rodamientos para el tornillo de desplazamiento de la mesa	96
Tabla 35: Análisis de Elementos finitos sobre la placa.....	97
Tabla 36: Análisis de Elementos finitos sobre el sistema de sujeción	99
Tabla 37: Análisis de Elementos finitos sobre el tornillo del sistema de desplazamiento	101
Tabla 38: Análisis de Elementos finitos sobre rodachín del sistema de desplazamiento	103
Tabla 39: Lista de las principales partes de la cortadora.....	105
Tabla 40: Lista de procesos y costos de producción	107
Tabla 41: Proceso de construcción y ensamble de la cortadora.....	108
Tabla 42: Proceso de comprobación eléctrica de la cortadora.....	109
Tabla 43: Comprobación técnica del proceso de corte de probetas.....	112
Tabla 44: Documentación gráfica del uso de la cortadora.....	114
Tabla 45: Encuesta final a los operarios de la cortadora.....	117
Tabla 1: Encuesta final a los operarios de la cortadora	121

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Planos de la Cortadora	129



GLOSARIO

Asfalto: Sustancia de color negro que procede de la destilación del petróleo crudo, se encuentra en grandes depósitos naturales, como el lago Asphaltites o el mar Muerto, y se utiliza para pavimentar carreteras y como revestimiento impermeable de muros y techados. La palabra asfalto también se la utiliza para expresar al material constituido por una mezcla en proporciones variables de betún natural y/o de refinería, arena, grava, y filler. Aunque los términos bitumen y asfalto son a menudo utilizados indistintamente para los mismos productos, se considera bitumen como la expresión correcta.

Material bituminoso: Sustancias minerales aglomerantes con características ligantes, formadas principalmente por caliza, betunes y otros elementos en menor composición. Es de color marrón oscuro a negro, sólida o líquida viscosa y densa a temperatura ambiente. Cuando los materiales bituminosos provienen del petróleo, sin importar su origen, reciben el nombre de asfaltos, betunes asfálticos o bitumen

Betún: Materia orgánica natural, compuesta esencialmente por hidrógeno, oxígeno y carbono. Los betunes son generalmente masas de color negro, altamente viscosos que al calentarse, se vuelven semisólidas o líquidas, constituyendo entonces un sistema coloidal de pequeñas partículas de carbón en una mezcla de hidrocarburos de alto peso molecular.

Filler: Polvo mineral que desempeña un papel fundamental en el comportamiento de las mezclas bituminosas, en función de su naturaleza, finura, actividad y proporción en la que entra a formar parte de la mezcla.

Seguridad Industrial: Conjunto de actividades dedicadas a la identificación, evaluación y control de los factores de riesgo que pueden ocasionar accidentes de trabajo, además hacen que el trabajador labore en condiciones ambientales y personales seguras, con el fin de conservar la salud y el bienestar personal.

Ergonomía: Derivada del griego, *ergon* (trabajo) y *nomos* (ley), es la disciplina tecnológica que trata del diseño de lugares de trabajo, herramientas y tareas que coinciden con las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las capacidades del ser humano. Busca la optimización de los tres elementos del sistema (humano-máquina-ambiente) para adaptar el trabajo a las capacidades y posibilidades del ser humano, a través del estudio metodológico de la persona, la técnica y la organización.



RESUMEN

TITULO

CORTADORA DE PROBETAS DE MATERIAL BITUMINOSO EN LA CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN ASFALTOS, CORASFALTOS.*

AUTORES

JOSÉ MANUEL CÁRDENAS CÓRDOBA
OSCAR ALBERTO MEJÍA RODRÍGUEZ**

PALABRAS CLAVE

Cortadora de viga asfáltica, Máquina de corte, Diseño industrial, Seguridad industrial, Ergonomía industrial.

DESCRIPCIÓN

Existe una problemática de diseño con el equipo de corte de material bituminoso en la corporación que afecta la seguridad del operario encargado: el proceso en el cual se conforma la uniformidad dimensional de las probetas requerida para los ensayos (fatiga, deformación permanente, módulo de elasticidad y ahuellamiento W.T.T), se realiza con un equipo de corte de pavimento a nivel del piso, una adaptación con poca o nula seguridad industrial; la disposición del aparato acondicionado obliga al operario a adoptar posturas penosas y lo expone constantemente a un ambiente de vibraciones y altos niveles de emisiones sonoras y volátiles causados por el equipo; las acciones operativas de la máquina no están establecidas ordenadamente y las medidas de prevención de accidentes son deficientes.

Es de vital importancia diseñar una cortadora de probetas de material bituminoso que mejore la seguridad industrial con la disminución de los niveles de emisión de ruido, partículas volátiles y vibraciones durante el corte de muestras en la corporación, que cumpla la normatividad y las condiciones mínimas de seguridad operacional; pasando por la etapa de observación, contextualización y evaluación para la identificación de los principales riesgos e implementando el Modelo de Pahl & Beitz durante el desarrollo de la cortadora como metodología proyectual de diseño.

El diseño se centra en una cortadora de probetas de material bituminoso con la que se disminuyan las emisiones; se definan los protocolos de seguridad, los sistemas de control y las posturas del operario al usar el equipo, desde la óptica crítica y correctiva del diseño industrial, considerando la efectividad en la tarea de corte de probetas y manteniendo la calidad dimensional de las muestras analizadas en el laboratorio.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: M.D.I. Edgar Sarmiento



SUMMARY

TITLE

BITUMINOUS MATERIAL SPECIMENS CUTTER IN THE CORPORATION FOR RESEARCH AND DEVELOPMENT IN ASPHALTS, CORASFALTOS*.

AUTHORS

JOSÉ MANUEL CARDENAS CÓRDOBA
OSCAR MEJIA ALBERTO RODRIGUEZ**

KEYWORDS

Asphalt cutter beam, cutting machine, Industrial Design, Industrial Safety, Industrial Ergonomics.

DESCRIPTION

There is a design problem about the bituminous material cutting equipment in the corporation that affects the safety of the operator in charge: the dimensional uniformity conforming process of the required samples (for the fatigue, permanent deformation, elasticity modulus and Wheel Tracking tests) is carried out with an adapted ground level pavement cutting equipment with none or low industrial safety; the arrangement of the adapted equipment forces the operator to adopt painful positions and it constantly exposes him to a high level environment of vibrations, noise and volatile emissions, caused by the equipment; operational actions of the machine are not set tidily and accident prevention measures are deficient.

It is vitally important to design a bituminous material specimens cutter equipment to improve the industrial safety conditions; which reduces vibrations, noise and volatile particles emission levels during cutting samples in the corporation and it accomplish the standard regulations and the minimal safety operational conditions; starting with the observation, contextualization, evaluation and identification of the main risks to implement the Pahl & Beitz design methodology model during the development of the cutter machine.

The design process focuses on specimens cutting machine which reduces emissions, defines security protocols, control systems and operating postures from the critical and corrective view of the industrial design, considering effectiveness in the bituminous material cutting task and maintaining the dimensional quality of the specimens analyzed in the laboratory.

* Degree Work

** Faculty of Physical- Mechanical Engineering. School of Industrial Design. Director: M.D.I. Edgar Sarmiento



INTRODUCCION

El material bituminoso proviene del petróleo, y reciben también los nombres de asfaltos, betunes asfálticos o bitumen es una sustancia mineral aglomerante con características ligantes, formadas principalmente por caliza y betunes, su color es marrón oscuro a negro, sólidos o líquidos viscoso y denso a temperatura ambiente, se considera bitumen como la expresión correcta.

El término asfalto es usado con mayor frecuencia en el común de la industria vial, y entre los empleados de la corporación CORASFALTOS, para describir al material constituido por una mezcla en proporciones variables de betún natural y/o de refinería, arena, grava, y filler (clase granulométrica de agregados de un tamaño inferior a 80 micrones).

CORASFALTOS es una corporación civil para la Investigación y desarrollo de asfaltos en el sector transporte e industrial, con participación de los sectores estatal, académico e industrial, que busca contribuir al desarrollo del país mediante la investigación y desarrollo en el sector de materiales para construcción de vías e infraestructura, donde la seguridad industrial para el proceso de corte está en implementación con el conjunto de actividades dedicadas a la identificación, evaluación y control de los factores de riesgo que pueden ocasionar accidentes de trabajo, con el fin de conservar la salud y el bienestar del personal.

El diseño industrial interviene en el medio productivo para sumar al avance tecnológico usando recursos multidisciplinarios, aplicándolos de forma racional para optimizar y corregir procesos aportando al mejoramiento de la seguridad industrial y el conjunto de actividades dedicadas en la identificación, evaluación y control de los factores de riesgo que pueden ocasionar accidentes de trabajo. Además hace que las personas laboren en condiciones ambientales y personales seguras, con el fin de conservar la salud y el bienestar, el diseño industrial usa la ergonomía para detectar, analizar y minimizar las causas y efectos adversos que pueden ocasionar complicaciones en la salud e integridad física del operario de equipos o herramientas en diferentes ambientes de producción.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Corporación para la Investigación y Desarrollo en Asfaltos en el Sector Transporte e Industrial, CORASFALTOS, es una corporación civil, sin ánimo de lucro, de carácter mixto, con la participación activa de los sectores estatal, académico e industrial, cuyo objetivo se resume en contribuir al desarrollo del país mediante la promoción de estrategias que consoliden una cultura de investigación y desarrollo en el área de los asfaltos y demás materiales de construcción de vías y usos industriales. Creada a comienzos de 1990, CORASFALTOS opera como un centro de investigación y desarrollo Tecnológico, el cual ha demostrado resultados tangibles y verificables, fruto de sus proyectos, transferencia de tecnología y otras actividades de investigación como las realizadas en los laboratorios de Evaluación de asfaltos y mezclas asfálticas o el de Evaluación de suelos y agregados entre otros¹.

Para los ensayos de laboratorio se debe preparar el material de análisis y es necesario que las muestras cumplan con determinadas especificaciones en cuanto a sus dimensiones. Inicialmente, en una fase de pre-muestreo, se obtienen “paneles” (bloques salidos del compactador) de 30 cm de ancho por 45 cm de largo, y una altura o espesor que oscila entre los 6 y 7,5 cm. Para los procesos de ensayos requieren cortar dichas *paneles* en dos tipos de probetas diferentes en que las primeras, sometidas al ensayo de ahuellamiento WTT (Wheel Tracking Test) deben tener 30 cm de ancho por 30 cm de largo y su espesor no se modifica; las otras, las *vigas*, deben tener 5 cm de ancho por 5 cm de espesor y una longitud de 39 cm y se les realiza ensayos de fatiga, deformación permanente, módulo de elasticidad (figura 1).

El alcance de este proyecto, se basa en la construcción de un modelo funcional a escala 1:1 de la cortadora de probetas de material bituminoso que permita mejorar las condiciones de seguridad industrial en la corporación para la Investigación y Desarrollo de Asfaltos en el sector transporte e industrial, Corasfaltos.

¹ CORASFALTOS. (23 de JUNIO de 2015). *Quiénes Somos*. Recuperado el 23 de junio de 2015, de <http://www.corasfaltos.com/index.php/quienes-somos>.



Figura 1: Muestra tipo viga, 5x5x39cm



La corporación cuenta con un equipo de corte de hormigón y asfalto a nivel del piso, ubicado dentro de las instalaciones de la sede UIS Guatiguará, muy cerca a las oficinas de la empresa y adaptado en la parte inferior por medio de una bandeja que se desliza abajo y en la dirección de corte del disco (figura 2).

Figura 2: Equipo adaptado para el corte de muestras



Este equipo funciona con un motor Honda GX390 13.0 y presta el servicio de cortadora del material en la etapa de muestreo. El motor mueve el disco diamantado que realiza el corte del material, y hace evidente deficiencias en las condiciones de seguridad expresadas en emisiones volátiles contaminantes tanto por la combustión de la gasolina como por el corte del material, vibraciones y emisiones sonoras



mayores a los 80dB que afectan directamente a la persona que realiza la tarea e indirectamente al entorno de los laboratorios y de la empresa (figura 3).

Figura 3: Emisiones causadas por el motor y el corte del material



En el proceso de corte, el operario transporta uno a uno los bloques del compactador al equipo, los descarga en el piso y procede a realizar el corte de probetas adoptando posiciones penosas frente al equipo. Esta etapa está justo en medio del proceso investigativo que realiza el laboratorio y cualquier falla en la elaboración de la probeta, podría alterar los resultados y/o el cronograma en que se realizan las pruebas.

El equipo adaptado que presta el servicio de corte de material bituminoso cumple su función, sin embargo a simple vista se evidencian una serie de falencias en cuanto a las posturas adoptadas por el operario antes y durante el uso del equipo. El método REBA (Rapid Entire Body Assessment) es un método especialmente sensible a los riesgos de tipo músculo-esquelético y permite la valoración de la actividad muscular causada por posturas estáticas, dinámicas, o debidas a cambios bruscos o inesperados en la postura (Hignett & McAtamney, 1995).

Mediante la observación de la persona implicada directamente en la tarea de corte, propone dentro de su proceso la identificación inicial de los problemas posturales en el uso de equipos como el usado actualmente en la corporación.

El método nos orienta acerca de la necesidad de plantear acciones correctivas sobre la postura y para el caso del proceso de corte de probetas en Corasfaltos, se obtiene un resultado equivalente a 13 puntos, lo que indica, dentro de dicha escala de acción, que se deben tomar *MEDIDAS CORRECTIVAS INMEDIATAS*, al representar un nivel de *RIESGO MUY ALTO*. Las puntuaciones individuales obtenidas para los segmentos corporales, la carga, el agarre y la actividad, serán una guía sobre los aspectos ergonómicos que requieran mayor esfuerzo preventivo en el diseño de la cortadora de material bituminoso en CORASFALTOS.

El proceso de corte en la corporación se realiza de forma inadecuada y se debe intervenir por varias razones: el equipo usado para tal tarea es una adaptación de un equipo de corte de concreto, a nivel de piso donde el ruido, las emisiones y las vibraciones, someten al operario a evidentes afectaciones auditivas, pulmonares, vasculares y musculo-esqueléticas que pueden ser mejoradas en la concepción del diseño de cortadora de las probetas de material bituminoso cumplimiento con las normas básicas de seguridad industrial.



2. JUSTIFICACIÓN

La Corporación para la Investigación y Desarrollo de Asfaltos en el sector transporte e industrial, CORASFALTOS, es una corporación civil con participación de los sectores estatal, académico e industrial, que busca contribuir al desarrollo del país mediante la investigación y desarrollo en el sector de materiales para construcción de vías e infraestructura. En el laboratorio de asfaltos se llevan a cabo pruebas cuyo objetivo es estudiar químicamente los asfaltos y su proporción e interacción con los materiales pétreos con los que se fabrican las mezclas asfálticas; mientras que en el laboratorio de suelos y agregados se hacen los ensayos físicos y mecánicos que buscan conocer detalladamente las propiedades de los materiales de suelos agregados y las arcillas, empleadas de la mejor forma posible.

Para la realización de los ensayos de fatiga, deformación permanente, módulo de elasticidad y ahuellamiento WTT (Wheel Tracking Test), los laboratorios de CORASFALTOS necesitan que el material bituminoso de análisis cumpla con las siguientes dimensiones: 30x30x5cm; y otras probetas 5x5x39cm. Para el corte de dichas probetas, la corporación cuenta con un equipo de corte de hormigón y asfalto a nivel del piso, ubicado dentro de las instalaciones de la sede UIS Guatiguará, muy cerca a las oficinas de la empresa y adaptado en la parte inferior por medio de una bandeja que se desplaza abajo y en la dirección de corte del disco. El proceso de corte debe realizarse a la intemperie, se debe transportar cada bloque de 25kg del compactador a la máquina cortadora aproximadamente 20m, se debe descargar el bloque de material asfáltico desde la cintura hasta el nivel del piso y se deben adoptar posiciones penosas por parte del personal que realiza la actividad: arrodillado frente al equipo y apoyado sobre el piso, desplazando el bloque por medio de la bandeja con precaución para evitar accidentes con el atascamiento del disco o el daño de la probeta durante el corte. Esta etapa está justo en medio del proceso investigativo y cualquier falla en la elaboración de la probeta, podría alterar los resultados y/o el cronograma en que se realizan las pruebas.

La *seguridad industrial y la salud ocupacional* son fundamentales y un punto de partida para proyectos de este tipo, sus actividades comprende la identificación, evaluación, análisis de riesgos ocupacionales y las recomendaciones específicas para su control, a través de la elaboración de panoramas de riesgo, visitas de




inspección, mediciones y asesoría técnica. La Observación del comportamiento durante el uso los equipos, aporta datos útiles para mejorar el ambiente, equipo y acciones que pongan en riesgo el bienestar del operario.

Según la OIT (Organización Internacional del Trabajo), se registra que cada 15 segundos un trabajador muere a causa de accidentes o enfermedades relacionadas con el trabajo; cada 15 segundos, 153 trabajadores tienen un accidente laboral; cada día mueren 6.300 personas a causa de accidentes o enfermedades relacionadas con el trabajo (2,3 millones de muertes por año); anualmente ocurren más de 317 millones de accidentes en el trabajo, muchos de estos accidentes resultan en absentismo laboral. Las cifras entregadas por la OIT demuestran la gravedad en el tema de seguridad y a pesar de los esfuerzos en la prevención de riesgos laborales, todavía se siguen presentando. “El coste de esta adversidad diaria es enorme y la carga económica de las malas prácticas de seguridad y salud se estima en un 4% del Producto Interno Bruto global de cada año” (OIT, 2015).





En Colombia, el Ministerio de Trabajo informó que “el 90% de las enfermedades laborales corresponden a lesiones músculo esqueléticas, seguidas con un 4% de patologías auditivas, trastornos mentales con 1.1%, y lesiones de la piel con 1.0%”. (MinTrabajo, 2014).

Es evidente que la forma correcta de enfrentar un problema es identificarlo y prevenirlo con los riesgos al realizar la tarea de forma inadecuada. Se reconocen en Corasfaltos insuficiencias en las condiciones de seguridad industrial que afectan la seguridad y la salud del encargado del corte de probetas y se interpretan como errores en la actual cortadora de material bituminoso, y deben ser evitadas o minimizadas por la cortadora a diseñar:




-  El equipo usado actualmente es una equipo para el corte de concreto de piso adaptada de forma improvisada, este no es adecuado para la tarea de la corporación, no es ergonómico ni es seguro para el operario, obliga al operario a adoptar posiciones penosas. La aplicación del método REBA (Rapid Entire Body Assessment) determina que, en cuanto a la situación



postural antes y durante el corte, deben tomarse *MEDIDAS CORRECTIVAS INMEDIATAS* pues representa un nivel de *RIESGO MUY ALTO*.

-  Mientras el equipo se mantiene en marcha, el operario se ve expuesto directamente a un ambiente de vibraciones superiores a 0.81g (7.96 m/s²).
-  Altos niveles de emisiones sonoras (ruido continuo, de impacto e intermitente) superiores a los 90dB durante el uso del equipo.
-  Emisiones volátiles de partículas y gases producidas por la combustión del motor a gasolina Honda GX390 13.0, con una carga contaminante al 100% de potencia de monóxido de carbono [CO] de 10.73 g, hidrocarburo [HC] de 0.12 g y óxido de nitrógeno [NOx] de 0.107g (Fuente: [www.honda.com.br/socio ambiental](http://www.honda.com.br/socio_ambiental), Informe Anual Ambiental, Honda South America, 2012).
-  Emisiones producidas por el corte sin lubricar del material de muestreo (polvos, gases, humos o vapores) que, según información toxicológica, puede presentar la posibilidad de irritación del tracto respiratorio superior y los ojos y en ciertas condiciones se puede desprender sulfuro de hidrogeno. El humo del material bituminoso puede contener varias partículas carcinógenas y provocar cáncer después de exposiciones muy prolongadas o en intervalos de tiempo muy regulares.

Además de lo antes mencionado:

-  El equipo actual no ofrece garantías de que el proceso de corte de las probetas sea de óptima calidad.
-  Los sistemas de control y las acciones operativas del equipo no están establecidas de forma ordenada.
-  Las medidas de prevención de accidentes laborales del operario son deficientes y la exposición a riesgo de accidentalidad o de lesiones graves e irreparables es constante, así como la preocupación por la integridad física del operario.

¿Cómo mejorar las condiciones de seguridad industrial en el corte de probetas de material bituminoso en la Corporación para la Investigación y Desarrollo de Asfaltos CORASFALTOS, al diseñar la cortadora de probetas de material bituminoso?



El propósito de este trabajo de grado, es diseñar una cortadora de probetas de material bituminoso para Corasfaltos que permitirá mejorar las condiciones de seguridad industrial del operario encargado.

Al implementar el Modelo de Pahl & Beitz como metodología proyectual de diseño, se inicia con la etapa de observación, contextualización y planeación que servirá de guía para el desarrollo del proyecto y en el cual se determinarán las especificaciones técnicas de potencia de los componentes eléctricos y/o electrónicos de la cortadora, se diseñarán la estructura que la conforma, sus sistemas funcionales y las posiciones de operación del encargado de la tarea de corte.







3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una cortadora de probetas de material bituminoso en el laboratorio de investigación de la Corporación para la Investigación y Desarrollo en Asfaltos, CORASFALTOS, de manera que se mejoren las condiciones de seguridad industrial y la uniformidad dimensional de las probetas requeridas para los ensayos de fatiga, deformación permanente, módulo de elasticidad y ahuellamiento (W.T.T.)

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-  Identificar los factores de riesgo en la operación de corte de probetas de material bituminoso en los laboratorios de la Corporación para la Investigación y Desarrollo de Asfaltos, CORASFALTOS.
-  Determinar las estrategias y principios de solución que garanticen el cumplimiento de los requerimientos técnicos y normativos en el corte de probetas de material bituminoso en Corasfaltos.
-  Diseñar una herramienta de corte de probetas de material bituminoso que involucre los requerimientos identificados de seguridad industrial y funcionalidad.
-  Comprobar el funcionamiento de la propuesta de diseño, su eficacia en el corte de probetas de material bituminoso y el cumplimiento de los requerimientos ergonómicos y de seguridad buscados.




4. METODOLOGÍA PROYECTUAL

Para el desarrollo de la cortadora de probetas en Corasfaltos, es necesario realizar un proceso de integración entre universidad, empresa y estudiantes, por lo tanto la comunicación continua entre los directivos y trabajadores de la empresa, los docentes y estudiantes, es necesaria; de manera que con sus aportes e indicaciones, se pueda orientar el desarrollo del proceso proyectual en la dirección correcta para lograr eficazmente los objetivos.

El proyecto para CORASFALTOS se fundamenta en la metodología del modelo de Pahl y Beitz, que está definida por fases adaptadas de acuerdo a los alcances.

4.1 FASE I: ETAPA DE INVESTIGACIÓN: IDENTIFICAR LOS FACTORES DE RIESGO Y LAS ESPECIFICACIONES DE LA CORTADORA.


La etapa inicial del proceso de diseño incluye una recopilación de información relevante para evidenciar los principales problemas y establecer los requerimientos y restricciones que deben incorporarse en la cortadora de la corporación; una metodología de análisis del estado del arte, evaluación e identificación de riesgos y de las situaciones específicas de control y uso de la cortadora; entrevistas a las personas encargadas; visitas de inspección de la tarea, mediciones y revisiones técnicas para reconocer, localizar y cuantificar los factores de riesgo ligados a la cortadora, a los cuales están expuestos los funcionarios en esta área de trabajo.

-  **OBJETIVO ESPECÍFICO No.1:** Identificar los factores de riesgo en la operación de corte de probetas de material bituminoso en los laboratorios de la Corporación para la Investigación y Desarrollo de Asfaltos, CORASFALTOS.




4.2 FASE II: ETAPA CREATIVA O DE DISEÑO CONCEPTUAL: DETERMINAR ESTRATEGIAS PARA GARANTIZAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS Y NORMATIVOS.

Definida como fase inicial del proceso proyectual de diseño en donde se toma el planteamiento del problema (especificaciones y requerimientos de diseño) para generar soluciones amplias en forma de esquemas, conceptos o principios. Esta puede ser una etapa cíclica en la que se retroalimenta el proceso de diseño mediante la creación, selección y evaluación de conceptos.

-  **OBJETIVO ESPECÍFICO No.2:** Determinar las estrategias y principios de solución que garanticen el cumplimiento de los requerimientos de la cortadora de probetas de material bituminoso en Corasfaltos.

4.3 FASE III: DISEÑO DE INGENIERÍA.


Basado en los conceptos seleccionados, se desarrolla un diseño de mayor ingeniería, en el que se hacen los cálculos básicos necesarios para asegurar la funcionalidad y eficacia de sistema de acuerdo con las consideraciones técnicas, económicas y de producto del equipo. En esta etapa se definen los planos de conjunto de la máquina de corte, se precisan sus medidas y tolerancias, y se plasma toda la información detallada para la fabricación de todos los componentes y del equipo en sí.

-  **OBJETIVO ESPECÍFICO No.3:** Diseñar una herramienta de corte de probetas de material bituminoso que involucre los requerimientos identificados de seguridad industrial y funcionalidad.

4.4 FASE IV: DISEÑO DE DETALLE.

En esta última etapa se realizan las comprobaciones controladas del modelo funcional de la cortadora de material bituminoso.







 **OBJETIVO ESPECÍFICO No.4:** Comprobar el funcionamiento de la propuesta de diseño, su eficacia en el corte de probetas de material bituminoso y el cumplimiento de los requerimientos ergonómicos y de seguridad.

4.5 ACTIVIDADES SEGÚN LA METODOLOGÍA

Las actividades programadas para cumplir con la metodología a lo largo del proyecto se muestran en la tabla 1:



Tabla 2: Actividades programadas para el desarrollo del proyecto

 		Actividades del desarrollo metodológico según las fases <i>METODOLOGIA DE PAHL & BETZ</i>	 
FASE	ACTIVIDAD	FIN	
INVESTIGACION	1 Observación y documentación de las operaciones de control y de corte.	Identificar factores de riesgo y especificaciones del corte de material bituminoso.	
	2 Evaluación postural.		
	3 Identificar principales problemas técnico del equipo de corte.		
	4 Encuestas al personal encargado del corte de muestras		
	5 Análisis de estado del arte de equipos de corte.		
	6 Requerimientos y especificaciones de la cortadora de material bituminoso.		
DISEÑO	7 Determinar estructuras funcionales.	Estrategia para garantizar el cumplimiento de los requerimientos a través de conceptos u alternativas de mejoramiento de la cortadora de material bituminoso.	
	8 Conceptos de solución de la cortadora de material bituminoso.		
	9 Propuesta de distribución de sistemas funcionales.		
	10 Generación de alternativas.		
	11 Evaluación de alternativas según requerimientos.		
	12 Combinar variantes de conceptos de solución.		
	13 Evaluación de alternativas.		
CONSTRUCCIÓN	14 Diseño de concepto funcional de la cortadora de material bituminoso.	Diseño preliminar de la cortadora de material bituminoso de acuerdo a los requerimientos establecidos en la primera fase	
	15 Cálculos estáticos de las partes de la cortadora..		
	16 Análisis de elementos finitos de las partes de la cortadora.		
	17 Planos de producción de las partes de la cortadora.		
	18 Cotización de materiales y procesos de producción.		
	19 Proceso de construcción y ensamble del modelo funcional de la cortadora.		
COMPROBACIÓN	20 Desarrollo de comprobación técnica.	Realizar comprobaciones controladas del modelo funcional de la cortadora de material bituminoso.	
	21 Análisis de corte de material bituminoso.		
	22 Análisis dimensional de las probetas.		
	23 Desarrollo de la comprobación ergonómica.		
	24 Análisis postural.		
	25 Análisis de acciones operativas de la nueva cortadora.		
	26 Registro de resultado y conclusiones		






5. MARCO TEÓRICO

Para conocer un poco más sobre el material que se requiere cortar en la corporación, se inicia con la aclaración de la terminología e información usada en el sector de asfaltos e investigación de materiales viales.

5.1 MATERIAL BITUMINOSO

Se conoce por material bituminoso a las sustancias minerales aglomerantes con características ligantes, formadas principalmente por caliza, betunes y otros elementos en menor composición. Es de color marrón oscuro a negro, sólida o líquida viscosa y densa a temperatura ambiente. Cuando los materiales bituminosos provienen del petróleo, sin importar su origen, reciben el nombre de asfaltos, betunes asfálticos o bitumen.

En Europa, aunque los términos bitumen y asfalto son a menudo utilizados indistintamente para los mismos productos, se considera bitumen como la expresión correcta. Bitumen pertenece a la categoría de productos llamados “hidrocarburos aglomerantes” que incluye:

-  Bitúmenes que son materiales sólidos o semisólidos extraídos del petróleo.
-  Emulsiones bituminosas que resultan de dispersar un bitumen en una fase, generalmente acuosa.
-  Alquitranes, tales como los producidos por la destilación del carbón a altas temperaturas.



El término asfalto es utilizado en la corporación y en el medio industrial vial para describir al material constituido por una mezcla en proporciones variables de betún natural y/o de refinería, arena, grava, y filler (clase granulométrica de agregados de un tamaño inferior a 80 micrones). El asfalto es convenientemente amasado y aplicado en caliente (entre 220 y 260°C) para la pavimentación de caminos dejándolo, en algunos casos, correr o discurrir sin necesidad de compactación. (Stevens, 1964).



5.2 PRUEBAS EN LOS LABORATORIOS DE CORASFALTOS

Para los ensayos de laboratorio en CORASFALTOS se preparan mezclas de materiales con arena, grava y el agregado bituminoso, luego, se procede a compactarlo con las especificaciones de estudio para obtener “*paneles*” o bloques del material bituminoso compacto de 30 cm de ancho por 45 cm de largo, y una altura o espesor que oscila entre los 6 y 7,5 cm.

Para los procesos de ensayos requieren cortar dichas paneles en dos tipos de probetas diferentes:

-  *Bloques* de 30x30x6cm, que se someten al ensayo de ahuellamiento o WTT (Wheel Tracking Test) que consiste en una prueba de deformación plástica en pavimentos flexibles donde se representan las condiciones de tránsito a las cuales se encuentra sometido el pavimento mediante la aplicación sobre el bloque de una carga dinámica de 700 Newton a través de una rueda de 20 cm de diámetro, 5cm de espesor con una cubierta de 2 cm de espesor y dureza de 80 IRHD. Esta rueda simula las condiciones de tránsito con una frecuencia de 26,5 ciclos por minuto sobre la probeta y se registran las deformaciones verticales sufridas por la mezcla a lo largo de 10.000 ciclos de carga (este ensayo se debe acondicionar a 60 °C).
-  *Vigas* de 5x5x39cm (figura 1), sometidas a ensayos físicos de fatiga, deformación permanente y módulo de elasticidad.

Según información entregada por el personal de Corasfaltos, en la tarea de muestreo se puede invertir hasta 4 horas continuas de esfuerzo físico y mental, donde la seguridad industrial es deficiente del equipo, asimismo la acumulación de cansancio en el operario disminuye la atención en el desempeño de la tarea y la calidad con que se realiza; afectando, las características de la probeta y los resultados de las posteriores pruebas en el laboratorio, por pérdida de tiempo, material o en caso extremo por accidentalidad del operario significarían implicaciones económicas y legales graves para la corporación.



5.3 LA ERGONOMÍA COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO

Para la realización de este proyecto, el diseño industrial cuenta con algunas herramientas imprescindibles que, deben ser aplicadas adecuadamente, y guiarán la búsqueda y cumplimiento de los objetivos del proyecto para Corasfaltos. Una de estas herramientas de diseño es la ergonomía (y sus aplicaciones en el campo cognitivo, físico, ambiental).





Por medio de la ergonomía se puede contribuir a la planeación, el diseño y la evaluación de tareas, ambientes y sistemas en orden de hacerlos más compatibles con las necesidades, habilidades y limitaciones del personal de la corporación. Con la ergonomía como herramienta de diseño, se busca la optimización de los tres elementos del sistema (humano-máquina-ambiente) para adaptar el trabajo de corte de probetas a las capacidades y posibilidades del operario, a través del estudio metodológico de la persona, la técnica y la organización. Es una disciplina sistemáticamente orientada a los aspectos de la actividad humana y abarca panoramas desde 3 dominios fundamentales: el físico, el cognitivo y el ambiental².

La **Ergonomía Física** concierne a las características anatómicas, antropométricas, fisiológicas y biomecánicas humanas del que realiza la labor de corte de probetas en la corporación que se relacionan con la actividad física de corte. Los tópicos relevantes incluyen posturas de trabajo, manipulación de materiales, movimientos repetitivos, desórdenes musculoesqueléticos relacionados con el trabajo, distribución del lugar del trabajo, seguridad y salud. Por medio de la ergonomía física se pueden establecer algunos requerimientos a incluir en el diseño de la cortadora para Corasfaltos:




5.3.1 Uso de equipos en posición de pie. Para la realización del proyecto de la cortadora en Corasfaltos, se deben tener en cuenta las directrices en el diseño de actividades en posición de pie:

² Sociedad Colombiana de Ergonomía, SCE (2015). Ergonomía, Dominios de especialización <http://www.sociedadcolombianadeergonomia.com/>. Recuperado el 07 de 08 de 2015, de <http://www.sociedadcolombianadeergonomia.com/#!/ergonomia/cee5>



-  El operario debe poder trabajar con los brazos a lo largo del cuerpo y sin tener que inclinarse ni girar la espalda excesivamente.
-  Debe haber espacio suficiente entre la cortadora y el operario para las rodillas a fin de que pueda cambiar de postura mientras trabaja.
-  El operario no debe tener que estirarse para realizar sus tareas en la cortadora.
-  La superficie de trabajo debe ser adecuada a las alturas de los operadores de la cortadora y a las distintas tareas que deban realizar.

5.3.2 Área de trabajo. Respecto al área de trabajo de corte se debe tener presente que el cuerpo adopte una buena posición para el trabajo de pie:

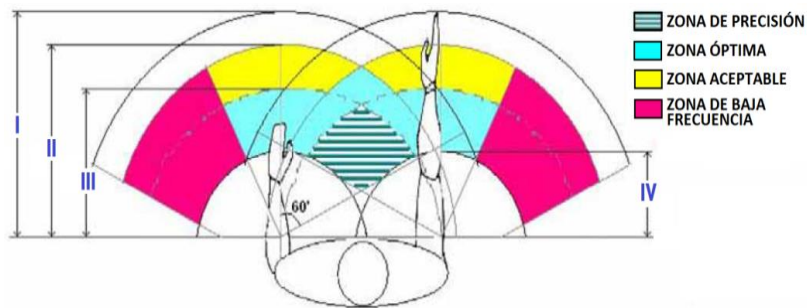
-  Estar frente al equipo que realiza el corte de probetas.
-  Mantener el cuerpo próximo a la cortadora.
-  Mover los pies para orientarse en otra dirección en lugar de girar la espalda o los hombros.

Además, dentro del área de trabajo existen zonas de acuerdo al alcance de los brazos y a la frecuencia que facilitan el desempeño de la tarea de corte, como se muestra en la figura 4:





- I. Alcance máximo del brazo.
- II. Alcance máximo de agarre.
- III. Alcance mínimo del brazo.
- IV. Alcance normal del brazo.



Figura 4: Área de trabajo³.



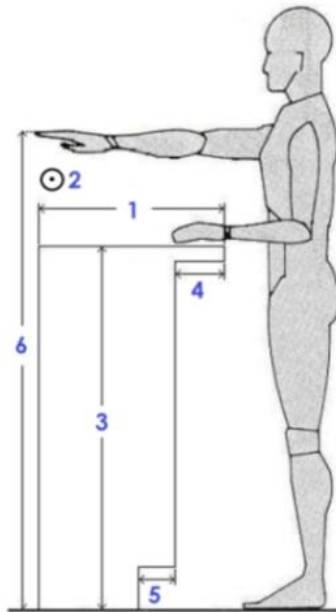
5.3.3. Altura del plano de trabajo. Para determinar la altura adecuada de la superficie de trabajo de la cortadora de probetas de material bituminoso en Corasfaltos se debe tener en cuenta los siguientes factores:

-  Altura de los codos del (los) operario(s) de la cortadora.
-  Tipo de trabajo a desarrollar.
-  Tamaño del bloque de material bituminoso con el que se trabaja.
-  Herramientas y equipo adicionales que se deben usar al realizar el corte.

Para determinar los requerimientos de uso de la cortadora en posición de pie en Corasfaltos, se deben tener en cuenta las medidas mostradas en la figura 5:

³ Fuente: Laboratorio de ergonomía. Diseño de puestos de trabajo [Escuela colombiana de Ergonomía].

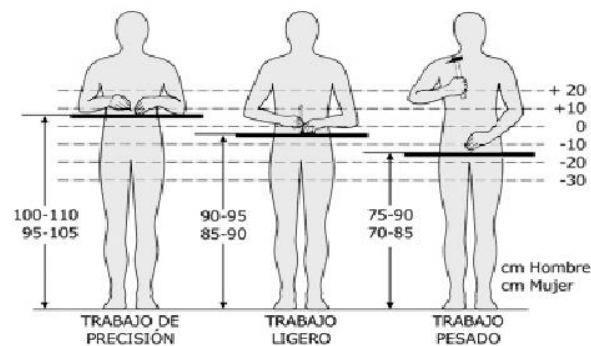
Figura 5: Uso de máquinas en posición de pie ⁴



1. Profundidad de la superficie de trabajo.
2. Ancho de la superficie de trabajo
3. Altura de la superficie de trabajo
4. Espacio libre para las rodillas
5. Profundidad horizontal para los pies
6. Altura máxima para controles de uso frecuente

5.3.4 Tipo de trabajo a realizar. Debe tenerse en cuenta en el diseño de la cortadora que la altura óptima de la superficie de trabajo depende de la naturaleza del trabajo (figura 6). Para trabajo de precisión, la altura de la superficie de trabajo debe ser de 0 a 10 cm. por encima del codo, lo cual sirve de soporte reduciendo las cargas estáticas en los hombros. Para trabajo ligero, la altura de la superficie de trabajo debe de ser de 0 a 10 cm. por abajo del codo para materiales y herramientas pequeñas. Para trabajo pesado, la altura de la superficie de trabajo debe ser de 10 a 20 cm. abajo del codo para permitir un buen trabajo muscular de la extremidad superior. De esta manera, la tarea de corte de probetas de material bituminoso en la Corporación es una actividad de trabajo pesado.

Figura 6: Altura en cm del plano de trabajo ⁴.







Por otro lado, la **Ergonomía Cognitiva** también es una herramienta fundamental en el diseño de la parte de control del equipo (interfaz hombre-cortadora). Los tópicos relevantes incluyen carga mental de la tarea de corte, toma de decisiones, desarrollo de habilidades, responsabilidad del operario, estrés laboral y entrenamiento y cómo estos pueden relacionarse para el diseño del sistema que facilite y optimice el proceso de corte en la Corporación.

Así mismo la **Ergonomía Ambiental** se encargará de aquellos aspectos del ambiente físico que pueden llegar a afectar al nivel de confort durante el desarrollo de la tarea de corte y por tanto a la efectividad con la que esta debe realizarse. En Corasfaltos se presentan fallas en la contención de los riesgos ligados a estos aspectos, sin embargo, la ergonomía ambiental ayudará a detectar, analizar y minimizar las causas y, por ende, los efectos adversos que pueden ocasionar complicaciones en la salud e integridad física del operario. Incluye el estudio de los ambientes visual, sonoro, mecánico, térmico, electromagnético y de distribución del puesto de trabajo.






5.3.5 Datos antropométricos de los operarios de la cortadora. Se determina la altura de la superficie de trabajo para tipo *trabajo pesado*, donde la altura de la superficie debe ser de 10 a 20cm abajo del codo para permitir un buen trabajo muscular en las extremidades superiores de los operarios. De acuerdo a las mediciones realizadas, se tiene (medidas en cm):

OPERARIO	ALTURA DE LOS CODOS	ALCANCE MÁXIMO	ALCANCE MÁXIMO DE AGARRE	ALCANCE MÍNIMO	ALCANCE NORMAL
K. Jaramillo	110	67,4	66,2	39,0	65,4
J. Rodríguez	112	67,7	66,7	39,4	65,9

Se toman los valores mínimos de acuerdo a la antropometría de los operarios:


-  Alcance máximo: 674mm
-  Alcance máximo de agarre: 662mm
-  Alcance mínimo: 390 mm
-  Alcance normal : 654 mm

Las medidas del área de trabajo de la cortadora se determinan de acuerdo al alcance de los brazos, la frecuencia de la tarea y otra información dada por los operarios y obtenida mediante la observación del uso de la cortadora hechiza:

-  **Tipo de trabajo a desarrollar.** Trabajo pesado.
-  **Altura del plano de trabajo.** Para trabajo pesado, debe ser de 10 a 20 cm. abajo del codo. 82cm.
-  **Ancho de la cortadora:** 693mm
-  **Profundidad de la cortadora:** 900 mm
-  **Área de trabajo:** 693 X 850mm


5.4 RUIDO, VIBRACIONES, Y EMISIONES PRESENTE EN CORASFALTOS


5.4.1 Ruido presente en Corasfaltos. Los tipos de ruido presentes en la corporación a causa del uso de la actual máquina de corte de material bituminoso son:

-  **Continuo.** El ruido del motor de combustión que acciona el disco de corte y la acción misma del disco sobre el bloque producen niveles de presión sonora



muy altos: aunque no se presenta una amplitud de señal constante, su valor medio mantiene valores muy por encima de 90dB.

 **De Impacto.** Se presenta por la elevación brusca del ruido durante el arranque del motor *Honda GX390 13,0* (de 35 a 500 milisegundos).

 **Intermitente.** Cuando se producen durante el corte caídas bruscas e intermitentes en el nivel de ruido, volviéndose a alcanzar un nivel superior a los 90 dB. Las causas de este tipo de ruido se deben al atascamiento que se presenta por acción del disco sobre el bloque de asfalto.





5.4.2 Vibraciones presentes a causa del corte. Según información registrada por el fabricante, el motor *Honda GX390 13,0* produce vibraciones superiores a 0.81g (7.96 m/s²) sin carga. Durante el corte de probetas de material bituminoso en Corasfaltos esta cifra aumenta por efecto del disco sobre el material y afecta directamente al operario que tiene contacto con el equipo o el bloque de asfalto.

Los efectos más usuales de las vibraciones en el cuerpo humano se expresan en traumatismos de la columna vertebral, dolores abdominales y digestivos, problemas de equilibrio, cambios de excitación o motivación, dolores de cabeza y pueden deteriorar la adquisición de información (por medio de ojos y oídos) y la salida de información (mediante movimientos de las manos o de los pies), alterando los procesos mentales complejos de entrada-salida, aprendizaje, memoria y toma de decisiones. Las tareas cognitivas simples y el tiempo de reacción no son afectadas por las vibraciones, sin embargo, los efectos de las vibraciones sobre la visión, el oído y el control físico pueden reducirse considerablemente diseñando la cortadora.

Las vibraciones y el ruido pueden generar efectos crónicos sobre los vasos sanguíneos y capilares y dependerán del tipo de exposición medioambiental, aunque generalmente guardan más relación con ciertos ambientes laborales.

5.4.3 Emisiones Volátiles en la Corporación. El nivel de riesgo por emisiones volátiles en Corasfaltos depende de varios factores como es la cantidad de contaminación en el aire, la falta de una correcta ventilación en la zona de trabajo,


la cantidad de aire que se respira en un momento dado y las fuentes de contaminación. El corte de probetas en los laboratorios de la corporación, específicamente la acción del disco sobre el bloque de material bituminoso, es la principal responsable de la generación y emisión de sustancias nocivas a la atmósfera:

-  Monóxido de Carbono [CO]: Aunque la mayor parte de este gas se encuentra de forma natural en la atmósfera, en Corasfaltos se produce principalmente por la combustión incompleta del motor Honda GX390 13,0.
-  Dióxido de Carbono [CO₂]: 1.255g.
-  Óxidos de nitrógeno [NOx]: 107g. Compuestos formados por nitrógeno y oxígeno.
-  Hidrocarburo [HC]: 0.175g.


Algunas de estas emisiones se diluyen en el aire, pero en un medio cerrado, su concentración las hace muy tóxicas, incluso mortales; por ello es necesario intervenir directamente en el diseño de una cortadora que permita disminuir la generación de este tipo de emisiones y, así mismo, disminuir los efectos sobre el operario del equipo de corte.

5.5. SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL

Uno de los principales fines del desarrollo de la cortadora de material bituminoso para Corasfaltos es el mejoramiento de la Seguridad y Salud en el Trabajo (rama de la salud en la que convergen Medicina del Trabajo, Higiene Industrial, Seguridad Industrial y Ergonomía, y entendida en adelante como SST). Por medio de la SST se debe buscar⁴:

-  Establecer las actividades de prevención tendientes a mejorar las condiciones de trabajo y salud del trabajador, protegiéndolo contra los riesgos derivados de la organización del trabajo que puedan afectar la salud individual o colectiva en los lugares de trabajo.

⁴ Según Artículo 2° del Decreto 1295 de 1994, Por el cual se determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales.

-  Fortalecer las actividades que permitan establecer el origen de los accidentes de trabajo y las enfermedades profesionales y el control de los agentes de riesgos ocupacionales.

La corporación, tiene la responsabilidad de suministrar las condiciones adecuadas mediante la adopción de medidas ergonómicas y técnicas en sus laboratorios; evitar los accidentes de trabajo por medio de la aplicación de la tecnología disponible en la tarea de muestreo, y dar la capacitación necesaria al operador sobre el nuevo método de uso de la cortadora como guía para minimizar riesgos y establecer los protocolos de seguridad.

Cuando se rompen dichos protocolos o, peor aún, cuando no están bien establecidos pueden generarse lesiones en el trabajador. Las más frecuentes están catalogadas como contusiones, cortes, heridas, fracturas y desordenes del sistema musculo esquelético, las cuales pueden producirse en cualquier parte del cuerpo. Las zonas más sensibles son los miembros superiores (hombros, brazos y manos) y la espalda, en especial los sectores dorso lumbares: estas lesiones pueden comenzar desde un lumbago o alteraciones de los discos intervertebrales (hernias discales) o incluso fracturas vertebrales por sobreesfuerzos (La Nostra Llar, 2015). Afortunadamente en la corporación aún no ha sucedido ningún evento que lamentar. Sin embargo la SST es la herramienta que permitirá controlar y/o evitar cualquier situación de riesgo dentro de la Corporación que pueda ocasionar accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, mejorar y mantener la calidad de vida y salud de los operarios del proceso de corte de muestras y mejorar la calidad, productividad y eficiencia en sus laboratorios; a través de la planeación, organización, ejecución, control y evaluación de las actividades que ayudan a preservar, mantener y mejorar la salud individual y colectiva del personal involucrado

La implementación del SST y la colaboración del personal encargado del corte de probetas es una importante ayuda para el desarrollo del proyecto pues, al trabajar mancomunadamente con el operador de la cortadora, *se pueden detectar los riesgos laborales, identificar mejor los problemas y sus causas, así como encontrar soluciones eficaces* (MinTrabajo, 2014).



Con la aplicación de estas medidas en el diseño de la cortadora de probetas de material bituminoso, precisamente se busca generar un adecuado ambiente de trabajo además de una cultura de seguridad alrededor de la cortadora, en donde prevalezca la protección de la salud. De igual manera se busca mantener el máximo estado de bienestar físico, mental y social de sus operarios, protegerlos de los accidentes de trabajo y las enfermedades profesionales a las que puedan estar sometidos.



6. FASE I: ETAPA DE INVESTIGACIÓN: IDENTIFICAR LOS FACTORES DE RIESGO Y LAS ESPECIFICACIONES DEL CORTE DE MATERIAL BITUMINOSO EN CORASFALTOS.
















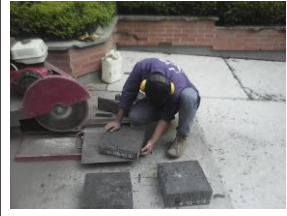

La etapa inicial del proceso de diseño incluye una recopilación de información relevante para evidenciar los principales problemas y establecer los requerimientos y restricciones que deben incorporarse en la cortadora de la corporación; una metodología de análisis del estado del arte, evaluación e identificación de riesgos y de las situaciones específicas de control y uso de la cortadora; entrevistas a las personas encargadas; visitas de inspección de la tarea, mediciones ambientales y revisiones técnicas para reconocer, localizar y cuantificar los factores de riesgo ligados a la cortadora, a los cuales están expuestos los funcionarios en esta área de trabajo.

6.1 OBSERVACIÓN Y DOCUMENTACIÓN DE LAS OPERACIONES DE CONTROL Y CORTE.

Los registros mostrados en la figura 7 van ligados desde la preparación de la máquina para el corte hasta su apagado. La observación en el proceso de corte del material bituminoso, hace evidente algunas fallas técnicas y de seguridad del equipo y deficiencias en las condiciones en las que debe desempeñarse la tarea: situaciones posturales, de control, de contaminación y otros aspectos que requieren especial y cuidadosa atención.



Figura 7: Proceso de control y corte de probetas

		Documentación gráfica del proceso de corte de probetas de material bituminoso en Corasfaltos <small>FASE I: ETAPA DE INVESTIGACIÓN</small>			
			<p>La máquina actual esta ubicada a la intemperie, cerca a las oficinas administrativas.</p> <p>La distancia entre la compactadora y la cortadora es mayor a 25m.</p> <p>La maquina esta separada del nivel del piso mediante adaptaciones.</p>		
			<p>No se realizan regularmente limpieza ni mantenimiento.</p> <p>La bandeja donde se ubican los bloques debe moverse manualmente sobre rieles adaptados.</p> <p>La sujeción del material se hace con la fuerza de las manos</p>		
			<p>La bandeja de desplazamiento de bloques puede presentar atascamientos</p> <p>La recarga de combustible debe hacerse cada 2 horas y toma aproximadamente 15 minutos.</p> <p>El encendido de la máquina debe hacerse mediante tiradera de arranque.</p>		
			<p>Sobrecalentamiento de las partes por exposición al sol.</p> <p>Contaminación del entorno por la combustión del motor.</p> <p>El operario de la máquina debe adoptar posiciones penosas al realizar la tarea de corte.</p>		
			<p>demasiada contaminación, además de la producida por el motor.</p> <p>El operario cambia de posición la probeta con el disco en marcha.</p> <p>La máquina no cuenta con un mecanismo de pausa ni de parada de emergencia.</p>		



Este equipo, que funciona con un motor Honda GX390 13.0, presta el servicio de cortadora del material en la etapa de muestreo.

Tabla 3: Motor Honda GX390 13,0.

<p>Motor Honda GX390 13,0</p>  <p>Fuente: www.honda-engines-eu.com</p>	<p>Especificaciones técnicas</p> <p>Tipo de motor: 4 tiempos, válvulas OHV. Sistema de encendido: Manual con tirador de arranque. Combustible: Gasolina de +86 octanos. Diámetro x Carrera: 88 x 64 mm. Cilindraje: 389 cm³. Potencia máx.: 13,0HP(8,7kW) a 3.600 rpm. Torque máx.: 19,5lb-ft(26,4Nm) a 2.500 rpm Sentido de rotación: Horario. Radio de Compresión: 8.2:1. Carburador: Tipo mariposa. Capacidad de aceite: 1.1 litros. Capacidad del tanque: 6.1 litros. Autonomía: 1.6 horas. Consumo: 4.06 lt/hr. Vibración: 0.87g (7.96 m/s²) Ruido producido: 90dB Volúmenes de contaminantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Monóxido de carbono, CO2: 1.255 g ✓ Hidrocarburo, HC: 0.175 g ✓ Óxido de nitrógeno, NOx: 107 g
---	---

El motor mueve el disco diamantado que realiza el corte del material, y hace evidente deficiencias en las condiciones de seguridad expresadas en emisiones volátiles contaminantes tanto por la combustión de la gasolina como por el corte del material, vibraciones y emisiones sonoras mayores a los 80dB que afectan directamente a la persona que realiza la tarea e indirectamente al entorno de los laboratorios y de la empresa.

6.2 EVALUACIÓN POSTURAL

La evaluación postural en Corasfaltos se realiza a partir del momento en que el operario debe transportar cada bloque (25kg cada uno) desde el compactador del

material bituminoso al equipo que realiza el corte, aproximadamente 20m (figura 8a); luego descargar el bloque de material bituminoso desde la cintura hasta el nivel del piso (figura 8b) y adoptando posiciones penosas, arrodillado frente al equipo y apoyado sobre el piso, desplazar el bloque por medio de la bandeja con precaución para evitar el atascamiento del disco y daño de la probeta durante el corte (figura 8c).

Figura 8. Postura del operario durante el uso del equipo. (a) Transporte de bloques, (b) Descargue de bloques, (c) Corte del material



Mediante el método REBA se evalúa el riesgo de posturas concretas de forma independiente y se divide el cuerpo en dos grupos, siendo el grupo A correspondiente al tronco, el cuello y las piernas y el grupo B el formado por los miembros superiores (brazo, antebrazo y muñeca). Para cada segmento del cuerpo, el método asigna un valor dependiendo de los ángulos, cargas, posturas, esfuerzos e incluso repeticiones de la tarea.

La hoja de campo (figura 9) evalúa la postura del operario durante el uso del equipo.

Figura 9: Hoja de campo de aplicación REBA, del uso del equipo adaptado para el corte de probetas de material bituminoso en Corasfaltos

Grupo A: Análisis de cuello, piernas y tronco			
CUELLO			
Movimiento	Punt.	Correc.	
flexión < 20°	1	Añadir + 1 si hay torsión o inclinación lateral	
>20° flexión o extensión	2		
PIERNAS			
Movimiento	Punt.	Correc.	
Soporte bilateral, andando o sentado	1	Añadir + 1 si hay flexión de rodillas entre 30° y 60°	
Soporte unilateral, soporte ligero o postura inestable	2	Añadir + 2 si las rodillas están flexionadas + de 60° (salvo postura sedente)	
TRONCO			
Movimiento	Punt.	Correc.	
Erguido	1		
flexión < 20° extensión < 20°	2	Añadir + 1 si hay torsión o inclinación lateral	
20°-60° flexión extensión > 20°	3		
flexión > 60°	4		
CARGA / FUERZA			
0	1	2	+ 1
< 5 Kg.	5 a 10	> 10 Kg.	Fuerza brusca
Resultado TABLA A: 8			
Empresa: CORASFALTOS			
Puesto de trabajo: Cortadora de material bituminoso			
Resultado TABLA B: 5			
Resultado TABLA C: 10			
Resultado TABLA D: 6			
Puntuación Final: 13			

PUNTAJE FINAL	1	2 o 3	4 a 7	8 a 10	11 a 15
NIVEL DE RIESGO	INAPRECIABLE	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
NIVEL DE ACCIÓN	No necesaria	Puede ser necesaria	Necesaria	Necesaria pronto	Necesaria inmediata




El método nos orienta acerca de la necesidad de plantear acciones correctivas sobre la postura para el caso del proceso de corte de probetas en Corasfaltos, se obtiene un resultado equivalente a 13 puntos, lo que indica, dentro de dicha escala de acción, se deben tomar **MEDIDAS CORRECTIVAS INMEDIATAS**, al representar un nivel de **RIESGO MUY ALTO**. Las puntuaciones individuales obtenidas para los segmentos corporales, la carga, el agarre y la actividad, serán una guía sobre los aspectos ergonómicos que requieran mayor esfuerzo preventivo en el diseño de la cortadora de material bituminoso en CORASFALTOS.

6.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS TÉCNICOS DEL EQUIPO DE CORTE.

La siguiente información fue registrada de acuerdo a los datos dados por el fabricante del motor en condiciones ideales, sin embargo estos valores pueden

aumentar por efecto del disco sobre el material durante el corte o por el escaso mantenimiento del sistema.

6.3.1 Niveles de Ruido. Los tipos de ruido presentes en la corporación a causa del uso de la actual máquina de corte de material bituminoso son:

-  **Continuo.** El ruido del motor de combustión que acciona el disco de corte y la acción misma del disco sobre el bloque producen niveles de presión sonora muy altos: aunque no se presenta una amplitud de señal constante, su valor medio mantiene valores muy por encima de 90dB.
-  **De Impacto.** Se presenta por la elevación brusca del ruido durante el arranque del motor *Honda GX390 13,0* (de 35 a 500 milisegundos).
-  **Intermitente.** Cuando se producen durante el corte caídas bruscas e intermitentes en el nivel de ruido, volviéndose a alcanzar un nivel superior a los 90 dB. Las causas de este tipo de ruido se deben al atascamiento que se presenta por acción del disco sobre el bloque de asfalto.

6.3.2 Emisiones Volátiles. Emisiones volátiles de partículas y gases producidas por la combustión del motor a gasolina Honda GX390 13.0, con una carga contaminante al 100% de potencia de monóxido de carbono [CO] de 10.73 g, hidrocarburo [HC] de 0.12 g y óxido de nitrógeno [NOx] de 0.107g (Fuente: www.honda.com.br/ socio ambiental, Informe Anual Ambiental, Honda South America, 2012).

Emisiones producidas por el corte sin lubricar del material de muestreo (polvos, gases, humos o vapores) que, según información toxicológica, puede presentar la posibilidad de irritación del tracto respiratorio superior y los ojos y en ciertas condiciones se puede desprender sulfuro de hidrogeno. El humo del material bituminoso puede contener varias partículas carcinógenas y provocar cáncer después de exposiciones muy prolongadas o en intervalos de tiempo muy regulares.

6.3.3 Vibraciones. Según información registrada por el fabricante, el motor Honda GX390 13,0 produce vibraciones superiores a 0.81g (7.96 m/s²) sin carga. Durante el corte de probetas de material bituminoso en Corasfaltos esta cifra aumenta por efecto del disco sobre el material y afecta directamente al operario que tiene contacto con el equipo o el bloque de asfalto.





6.4 ENCUESTAS AL PERSONAL ENCARGADO DEL CORTE DE MUESTRAS

Se realizan, al personal encargado del corte de muertas de material bituminoso en Corasfaltos, una serie de preguntas agrupadas por módulos para la identificación de las principales fallas en el proceso. La encuesta está dividida en cuatro bloques de acuerdo a las características físicas específicas de la cortadora actual, su sistema de control y señalética, su mecanismo de corte y otros aspectos relevantes.

6.4.1 Conclusiones generales del proceso de corte en Corasfaltos. Es evidente que la forma correcta de enfrentar un problema es identificarlo y prevenirlo con los riesgos al realizar la tarea de forma inadecuada. Se reconocen en Corasfaltos insuficiencias en las condiciones de seguridad industrial que afectan la seguridad y la salud del encargado del corte de probetas y se interpretan como errores en la actual cortadora de material bituminoso, y deben ser evitadas o minimizadas por la cortadora a diseñar:










Tabla 3: Encuesta inicial a los operarios de la máquina de corte

 		Encuesta de identificación de fallas en el proceso de corte de probetas de material bituminoso en Corasfaltos FASE I: ETAPA DE INVESTIGACIÓN		 		
ACERCA DE LA MÁQUINA					Módulo 1	
No.	PREGUNTA	SI	NO	NS/NR		
1	¿La máquina esta provista de guardas o elementos que protejan al operario de lesiones como cortadas o golpes?					
2	¿La posición con que debe operarse la máquina es cómoda?					
3	¿La altura del plano de trabajo de la máquina es adecuada para el tipo de tarea?					
4	¿El diseño de la máquina facilita la visibilidad del operario durante el corte de probetas?					
5	¿La disposición y materiales de los componentes de la máquina son los adecuados para garantizar un proceso de corte seguro?					
6	¿La máquina cuenta con un sistema de sujeción de probetas?					
7	¿El uso de los componentes de la máquina no requiere sobre esfuerzos del operario?					
8	¿La estructura de la máquina es suficientemente estable?					
9	¿La distribución de los componentes, sistemas y subsistemas de la máquina facilitan su uso y mantenimiento?					
ACERCA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL Y SEÑALIZACIÓN DE LA MÁQUINA					Módulo 2	
No.	PREGUNTA	SI	NO	NS/NR		
10	¿La máquina es fácil de encender?					
11	¿La máquina es fácil de operar?					
12	¿Los controles de la máquina están ubicados en lugares asequibles?					
13	¿La máquina cuenta con un control o mecanismo de parada?					
14	¿La máquina cuenta con un control o mecanismo de parada de emergencia?					
15	¿Los indicadores y señalización de los mecanismos de control y alerta manejan un lenguaje claro y de fácil de comprensión?					
16	¿Los sistemas de control de la máquina no requieren sobre esfuerzos por parte del operario?					
ACERCA DEL PROCESO DE CORTE					Módulo 3	
No.	PREGUNTA	SI	NO	NS/NR		
17	¿El ruido causado por la máquina dificulta o impide la comunicación entre el personal de la empresa?					
18	¿Las vibraciones que genera la máquina durante el proceso de corte causan molestias en el operario?					
19	¿Las emisiones de desecho causan molestias en la zona de trabajo o en la empresa en general?					
20	¿La temperatura del área de trabajo es apropiada cuando se usa la máquina?					
21	¿El proceso de corte garantiza la uniformidad dimensional de las probetas?					
22	¿La cortadora permite avanzar o retroceder el corte a medida que se realiza la tarea sin que la pieza sea dañada?					
23	¿Los esfuerzos realizados por el operario del corte de probetas son los máximos permisibles?					
OTROS ASPECTOS IMPORTANTES					Módulo 4	
No.	PREGUNTA	SI	NO	NS/NR		
24	¿Se realizan las correspondientes inspecciones de limpieza y mantenimiento en la máquina?					
25	¿El operario ha sido capacitado para el uso correcto de la máquina?					
26	¿La máquina cuenta con un diagrama de uso o un manual de operaciones?					
27	¿El operario usa los Elementos de Protección Personal EPP?					



El equipo usado actualmente es una equipo para el corte de concreto de piso adaptada de forma improvisada, este no es adecuado para la tarea de la corporación, no es ergonómico ni es seguro para el operario, obliga al operario a adoptar posiciones penosas. La aplicación del método REBA (Rapid Entire Body Assessment) determina que, en cuanto a la situación postural antes y durante el corte, deben tomarse *MEDIDAS CORRECTIVAS INMEDIATAS* pues representa un nivel de *RIESGO MUY ALTO*.

-  Mientras el equipo se mantiene en marcha, el operario se ve expuesto directamente a un ambiente de vibraciones superiores a 0.81g (7.96 m/s²).
-  Altos niveles de emisiones sonoras (ruido continuo, de impacto e intermitente) superiores a los 90dB durante el uso del equipo.
-  Emisiones volátiles de partículas y gases producidas por la combustión del motor a gasolina Honda GX390 13.0, con una carga contaminante al 100% de potencia de monóxido de carbono [CO] de 10.73 g, hidrocarburo [HC] de 0.12 g y óxido de nitrógeno [NOx] de 0.107g (Fuente: www.honda.com.br/socioambiental, Informe Anual Ambiental, Honda South America, 2012).
-  Emisiones producidas por el corte sin lubricar del material de muestreo (polvos, gases, humos o vapores) que, según información toxicológica, puede presentar la posibilidad de irritación del tracto respiratorio superior y los ojos y en ciertas condiciones se puede desprender sulfuro de hidrogeno. El humo del material bituminoso puede contener varias partículas carcinógenas y provocar cáncer después de exposiciones muy prolongadas o en intervalos de tiempo muy regulares.
-  El equipo actual no ofrece garantías de que el proceso de corte de las probetas sea de óptima calidad.
-  Los sistemas de control y las acciones operativas del equipo no están establecidas de forma ordenada.
-  Las medidas de prevención de accidentes laborales del operario son deficientes y la exposición a riesgo de accidentalidad o de lesiones graves e irreparables es constante, así como la preocupación por la integridad física del operario.



6.5 ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE EQUIPOS CORTE





Se realiza una búsqueda y reconocimiento de los principios de solución mediante un análisis del estado del arte, para establecer las acciones correctivas requeridas y garantizar la calidad dimensional durante el normal desarrollo de las actividades de operación y corte en la corporación.

6.5.1 Cortadora HEELT SRL. Esta máquina está especialmente diseñada para cortar testigos o probetas de hormigón u otros materiales de construcción con discos diamantados.

Tabla 4: Cortadora HEELT SRL

HEELT SRL	
	Características <ul style="list-style-type: none">✓ Corte refrigerado por agua con bomba de recirculación y filtro.✓ Corte de terminado liso.✓ Mandos de desplazamiento frontal.✓ Botón de parada de emergencia.✓ Sistema de transmisión de la potencia del motor, directo.
Fuente: www.heelt.com.ar	

Ventajas


-  Controles próximos al operario.
-  Indicador de giro de disco de corte.
-  Disco sobre el eje del motor.
-  Mandos frontales y cercanos al operario.

Desventajas

- ❏ Baja seguridad del operario.
- ❏ El dimensionamiento de las probetas es restringido.
- ❏ Poco robusto en la zona base, posibles vibraciones.
- ❏ Mesa de trabajo con tamaño restringido.
- ❏ Sistema de sujeción complejo.

6.5.2 Cortadora FECON FC-16. Diseñada para cortes de ladrillo, bloques de concreto, baldosa y material refractario, dependiendo del disco diamantado que se use.

Tabla 5: Cortadora FECON FC-16

FECON FC-16	Características
 <p data-bbox="422 1417 755 1449"><i>Fuente: www.feconsas.com</i></p>	<ul style="list-style-type: none">✓ Sistema de accionamiento manual y con pedal.✓ Carro de corte montado sobre ruedas con rodamientos, escuadra y tope.✓ Compacta y de fácil Mantenimiento.✓ Rápida, eficiente y precisa.✓ Cajón basculante en lámina de 1/8" montado sobre rodamientos.✓ Tipo de disco: 14" ó 16"✓ Refrigeración por agua✓ Sistema de transmisión por bandas✓ Revoluciones del disco 1800 rpm✓ Potencia del motor eléctrico de 5.0 HP a 1800rpm 220 V.

Ventajas

- ❏ Control lateral derecho.
- ❏ Bandeja para residuos.
- ❏ Mesa para desplazamiento frontal.
- ❏ Información visual de operatividad.
- ❏ Sistema para cubrir el disco.

Desventajas

- ❏ Baja seguridad del operario.
- ❏ Dimensionamiento de probetas restringido.
- ❏ Poco robusto, posibles vibraciones.
- ❏ Mesa de trabajo con tamaño restringido.
- ❏ Mandos frontales al operario.
- ❏ No tiene sistema de sujeción






6.5.3 Cortadora Prime 120S Cortadora italiana de puente ideal para cortes de ladrillo, piedras naturales, granito y losas de mármol.

Tabla 6. Cortadora PRIME 120s







<p style="text-align: center;">PRIME 120S</p>  <p style="text-align: center;"><i>Fuente: www.prodiamco.com</i></p>	<p>Características:</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Motor mono fase 110V 60Hz 3Hp/2,2kW de transmisión directa.✓ Protección de sobrecalentamiento.✓ Parrillas en aluminio para obtener la máxima rigidez e iluminación.✓ El riel está construido en aluminio extruido de alta calidad.✓ Bomba de reciclado de agua tipo S3✓ La mesa de corte tiene de 620mm en acero galvanizado✓ Capacidad de Disco Diamantado: 350mm de diámetro.✓ Máximo Tamaño de la baldosa para el corte diagonal: 849 x 849 mm✓ Longitud máxima de corte: 1200 mm✓ Profundidad de corte regulable y medible: 80 mm a 45°, 110mm a 90°, 180mm con 2 pasadas.
---	--

Ventajas

- ❏ Controles próximos al operario.
- ❏ Botón de parada de emergencia.








-  Disco sobre eje del motor basculante. Cabezal deslizante.
-  Sistema para cubrir la sierra.
-  Cabezote móvil de 45° a 90°
-  Patas de soporte ajustable a diferentes alturas.
-  Tanque de agua en ABS, resistente al desgaste y a los golpes

Desventajas

-  Baja seguridad del operario.
-  Banco móvil.
-  Poco robusto, posibles vibraciones.
-  Mesa de trabajo con tamaño restringido.
-  Sin sistema de sujeción.
-  Sistema manual de avance del corte.

6.6 CONCLUSIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LOS EQUIPOS CORTE

Se identifican las estructuras funcionales básicas de las maquinas usadas para corte de asfalto y hormigón:

-  Todas poseen motor eléctrico para activar el sistema de corte
-  Sistema de desplazamiento de los materiales a cortar.
-  Alineación y posicionamiento manual de los bloques.
-  Controles ubicados por grupos (incluyendo el botón de parada de emergencia).
-  No tienen sistema de sujeción de material o es muy complejo.
-  La operación de estos equipos se realiza frente a la máquina en posición de pie.
-  Algunos de ellos tienen señalización, de riesgo y de control.

6.7 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DE LA CORTADORA DE MATERIAL BITUMINOSO.



La determinación de los requerimientos de la cortadora de material bituminoso para Corasfaltos se hace en base al análisis de la información recopilada del estado del arte, los resultados de las encuestas realizadas al personal de la corporación, la inspección, observación y registro realizado durante el proceso de corte de muestras, la determinación de los sistemas funcionales presentes en la cortadora actual y toda la información adicional que se recopiló acerca del tema.

Con base en esta información y a través de un análisis concienzudo de las conclusiones presentadas anteriormente en el numeral 2.2.6., se pueden determinar los requerimientos de la cortadora como se muestra en la tabla 7:



Tabla 7: Determinación de requerimientos de la cortadora de material bituminoso para Corasfaltos

  Identificación de requerimientos para el proceso de corte de probetas de material bituminoso en Corasfaltos  					
		FASE I: ETAPA DE INVESTIGACIÓN			
	No.	REQUERIMIENTO	ERGONÓMICO	TÉCNICO	FUNCIONAL
ESPECIFICACIONES DE LA CORTADORA	1	La cortadora esta provista de guardas o elementos que protejen al operario de lesiones causadas por el desprendimiento de material asfáltico.	0	0	0
	2	La postura adoptada al operar la cortadora no genera problemas físicos en el operario.	0		
	3	La altura del plano de trabajo de la cortadora es adecuada para el tipo de tarea.	0	0	0
	4	El diseño de la cortadora permite la mayor visibilidad de la probeta durante el corte.	0		0
	5	La disposición de los componentes y los materiales usados en la cortadora son los adecuados para garantizar un proceso de corte seguro.		0	0
	6	La cortadora permite sujetar las probetas de forma sencilla y segura.	0	0	0
	7	El uso de los componentes de la cortadora no requiere sobre esfuerzos por parte del operario.	0		0
	8	La estructura de la cortadora permite mayor estabilidad.		0	0
	9	La distribución de los componentes, sistemas y subsistemas de la máquina facilitan su uso y mantenimiento.	0	0	0
CONTROL Y SEÑALÉTICA	10	La cortadora tiene aristas y bordes suavizados que evitan cortes o lesiones en el operario.	0		
	11	La cortadora es fácil de encender.	0	0	0
	12	La cortadora es fácil de operar.	0	0	0
	13	Los controles de la cortadora estan ubicados en lugares asequibles.	0		0
	14	La cortadora cuenta con un control o mecanismo para suspender el proceso de corte.		0	0
	15	La cortadora cuenta con un control o mecanismo de parada de emergencia.		0	0
	16	Los controles e indicadores de la cortadora tienen un lenguaje claro y de fácil de comprensión.	0		0
PROCESO DE CORTE	17	La cortadora disminuye los niveles de ruido causados durante el corte de probetas de material bituminoso.	0	0	
	18	El contacto del operario con la pieza es el mínimo requerido para disminuir los riesgos a sufrir afectaciones causadas por la vibracion durante el proceso de corte.	0	0	
	19	La cortadora permite reducir la emisión de partículas volátiles causadas por el motor y por efectos del corte de las muestras.	0	0	
	20	La cortadora de material bituminoso permite crear un ambiente mas ventilado y menos adverso para el operario.	0		
	21	El proceso de corte de la cortadora de viga asfáltica garantiza la uniformidad dimensional de las probetas.		0	
	22	La cortadora posee una velocidad de corte y de avance adecuada para realizar la tarea sin que la pieza sea dañada.		0	
	23	Los esfuerzos realizados por el operario del corte de muestras son los mínimos permisibles.	0		0
OTROS ASPECTOS	24	La cortadora permite que su limpieza y mantenimiento se realicen facilmente.	0	0	0
	25	El operario esta capacitado para operar la cortadora correctamente.		0	
	26	La cortadora cuenta con un diagrama de uso o un manual de usuario.			0
	27	El operario usa los Elementos de Protección Personal EPP durante el proceso de corte.	0	0	



7. FASE II: ETAPA DE DISEÑO CONCEPTUAL: ESTRATEGIA PARA GARANTIZAR EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS A TRAVÉS DE CONCEPTOS U ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO DE LA CORTADORA DE MATERIAL BITUMINOSO.

Definida como fase inicial del proceso proyectual de diseño en donde se toma el planteamiento del problema (especificaciones y/o requerimientos de diseño) para generar soluciones amplias en forma de esquemas, conceptos o principios; esta puede ser una etapa cíclica en la que se retroalimenta el proceso de diseño mediante la creación, selección y evaluación de conceptos.

7.1 DETERMINAR LAS ESTRUCTURAS FUNCIONALES

Para determinar las estructuras funcionales necesarias de la cortadora durante su operatividad, se realiza un análisis de los elementos básicos que la componen, sistemas y subsistemas:

7.1.1 Corte de Material Bituminoso. Se estudian las alternativas de mejoramiento disponibles en el mercado y en la tecnología para incluirlas en el diseño de la cortadora de probetas de material bituminoso en los laboratorios de Corasfaltos. Se busca definir un proceso en el que no se produzcan mayor desprendimiento de viruta o vapores durante el corte. Las principales técnicas de corte son:


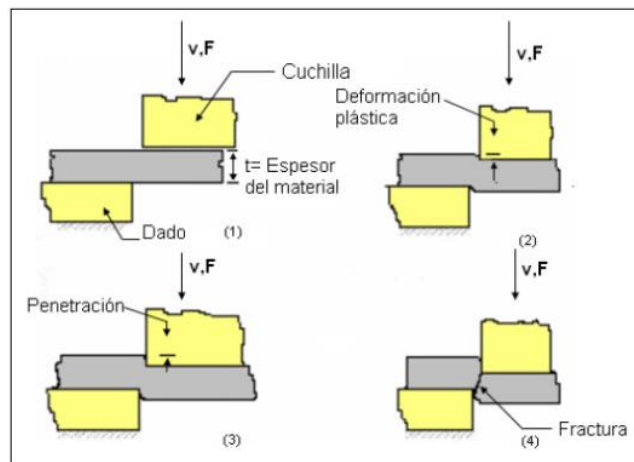
-  **Corte por CIZALLAMIENTO.** El cizallado es el proceso de corte que permite la separación del material sometido a dos bordes cortantes. Los cortes suele ser en frío y se pueden realizar de manera limpia, rápida y precisa; sin arranque de viruta, calor o reacciones químicas y en forma lineal o curva en cualquier longitud.



Figura 10: Proceso de corte por cizallamiento



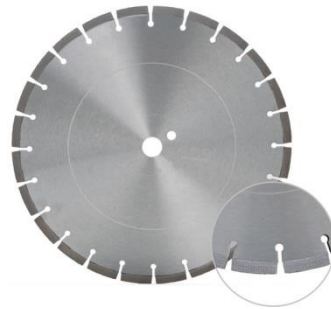
(Fuente, www.ingenieriaindustrialonline.com).

Corte con DISCO DE ABRASIÓN.

La eliminación del material se logra desgastando la pieza en pequeñas cantidades, desprendiendo partículas de material por medio de un disco formado por partículas de material abrasivo muy duro unidas por un aglutinante. Esta forma de eliminar material rayando la superficie de la pieza, necesita menos fuerza de la herramienta sobre la pieza, por lo que permite que se puedan dar pasadas de menor espesor pero los tiempos productivos se tornan más prolongados. La precisión y el acabado superficial obtenidos por abrasión pueden ser muy buenos sin embargo no se puede eliminar la producción de viruta y vapores.

Los discos diamantados son más eficaces en el corte de hormigón y asfalto. Estos discos producen menos vibración, menos ruido y tienen una vida útil superior hasta de un 30% y un 50% más de velocidad de corte, que los discos tradicionales. Requiere menos líquido refrigerante (normalmente agua).

Figura 81: Disco diamantado para corte de asfalto y hormigón



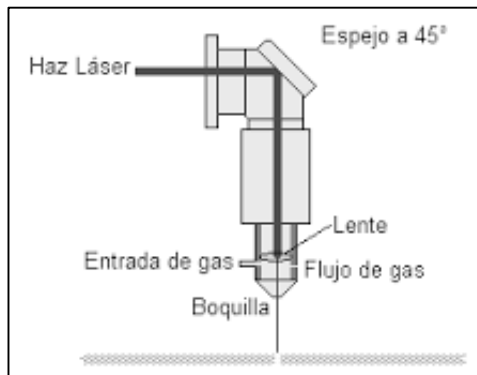
(Fuente www.discosdiamantados.com.pe).

Corte con LASER.

El mecanizado con láser es un proceso de índole térmica que no genera viruta, en el que la eliminación del material se provoca por la fusión y vaporización del mismo al concentrar elevadas temperaturas por medio de un haz de luz de elevada potencia en zonas focalizadas (figura 11).

El mecanizado con láser, comparado con los procesos convencionales de arranque de viruta, presenta una mejor precisión y acabado superficial, no produce desgastes, roturas ni colisiones de la herramienta de corte. Para la protección de la zona de mecanizado es necesario un sistema de refrigeración a base de un gas inerte que elimine los vapores causados por la volatilización del material. Para materiales no metálicos normalmente este gas suele ser aire, ya que no existe peligro de oxidación. Para materiales metálicos se suelen emplear gases como el argón.

Figura 12: Proceso de corte láser







(Fuente, www.sepi.esimez.ipn.mx).

Comparación de técnicas de corte de material bituminoso

A continuación, en la tabla 8 se compara las técnicas más comunes en el corte de piezas de acuerdo a características técnicas, funcionales y económicas.

Tabla 4: Comparación de técnicas de corte de material bituminoso


  Comparación de técnicas de corte de material bituminoso para el proceso de corte material bituminoso en Corasfaltos  				
FASE II: ETAPA DE DISEÑO CONCEPTUAL				
No.	CARACTERÍSTICA	CORTE POR		
		CIZALLA	DISCO	LASER
1	Tipo de mecanizado	Golpe	Abrasivo	Térmico
2	Esfuerzo de la herramienta de corte sobre la pieza	Si	Si	No
3	Desgaste de la herramienta de corte	Si	Si	No
4	Precisión en el corte	Media	Alta	Alta
5	Calidad en el corte	Media	Alta	Alta
6	Velocidad de corte (tiempo de ejecución)	Alta	Media	Baja
7	Producción de viruta	No	Si	No
8	Producción de vapores	No	Si	Si
9	Producción de calor	No	Si	Si
10	Producción de reacciones químicas	No	No	Si
11	Producción de ruido	Media	Alta	Baja
12	Vida útil	Media	Media	Alta
13	Refrigerante		Agua	Aire
14	Disponibilidad	Alta	Alta	Baja
15	Facilidad de mantenimiento	Media	Alta	Baja
16	Facilidad en el sistema de control	Alta	Media	Baja
17	Costo	Bajo	Medio	Alto

Aparentemente la mejor opción es la de corte laser por su buen desempeño en la mayoría de aspectos comparados sin embargo, se elige la opción de mecanizado por DISCO ABRASIVO DE CORTE a causa del limitado presupuesto de la empresa. Además, las falencias que presenta este tipo de mecanizado por desgaste pueden neutralizarse por medio de otros sistemas como el de refrigeración para lograr los objetivos de seguridad industrial del operario.

Selección de la herramienta de corte

La selección de la herramienta de corte para el material bituminoso se realiza en base al catálogo de la empresa Clipper, en él se encuentra variedad de discos diamantados de uso industrial, especiales para el corte de asfaltos y hormigón. Se considera sus aplicaciones para asfalto, diámetro externo, ancho de corte y diámetro del orificio.

Figura 93: Discos diamantados para asfalto y hormigón



	Código	medidas (ø,e,h) (mm)	Características
ASFALTO	70184624834	350,0 X 8,0 X 25,4	Disco clipper segmentado asfalto
	70184627931		Disco clipper premium segmentado asfalto
HORMIGON	70184624835		Disco clipper segmentado concreto
	70184627930		Disco clipper premium segmentado concreto
ASFALTO	70184627933	450,0 X 10,0 X 25,4	Disco clipper segmentado asfalto
	70184627935		Disco clipper premium segmentado asfalto
HORMIGON	70184627932		Disco clipper segmentado concreto
	70184627934		Disco clipper premium segmentado concreto






(Fuente, Catalogo para maquina Clipper C13E).

Análisis del proceso de corte de material bituminoso con disco diamantado

Se implementará en la cortadora de probetas de material bituminoso un disco con dientes con revestimiento en diamante industrial y gran dureza que gira 1800 rpm. El análisis y el siguiente cálculo está basado en la teoría de maquinado y procesos

de remoción de material, hallados en Fundamentos de Manufactura Moderna: materiales, procesos y sistemas. GROOVER, Mikeel. México: Prentice Hall, 2007.

Para el análisis del proceso de corte con disco diamantado se deben establecer los siguientes parámetros:

-  Para definir el diámetro del disco diamantado se analizan los hallados en el mercado nacional y se elige el disco diamantado de 450 mm, para un análisis teórico. Se toma el valor de número de dientes en el disco diamantado de 18" igual a 27 dientes para el análisis teórico. Para el espesor del diente, se tiene en el mercado un espesor de 3.2 milímetros.
-  Velocidad de avance: corresponde a la velocidad relativa entre la herramienta y la pieza de trabajo. Se tiene en cuenta el proceso de corte generado por el operario en el laboratorio de forma manual que tarda de 30 a 45 segundos en cortar el bloque desplazándolo 450 milímetros (720mm/min promedio). Para el avance realizado por los dientes del disco diamantado, corresponde al avance lineal de la herramienta de corte relativo al paso de cada diente, este avance por diente es un parámetro que no se puede fijar inicialmente en un valor determinado. Es variable y depende de la velocidad de avance determinada en la tarea de corte.
-  Para la profundidad de corte se toma el valor máximo correspondiente al espesor de la probeta de material bituminoso obtenida en el laboratorio de Corasfaltos (máximo 100 milímetros).
-  La velocidad de corte: corresponde a la velocidad relativa entre la herramienta y la probeta. Para el material bituminoso se recomienda velocidades de corte entre 25 y 50 [mm/s]. Para el cálculo se toma un valor de 40 [mm/s] que garantiza un corte con mayor grado de confiabilidad a un valor promedio. La velocidad de remoción de material, corresponde al volumen de material removido en la línea de corte por unidad de tiempo. Tiene unidades de [ft³/min]. Al conocer la velocidad de corte y el diámetro del disco se calcula la velocidad angular del disco.
-  La potencia unitaria: corresponde al valor de potencia necesaria para remover un volumen específico del material en el proceso de corte. Según los experimentos realizados en el corte se estimó aproximadamente en 4.8 [HP/ft³/min]. La Potencia útil: Corresponde a la potencia neta necesaria en el proceso de corte mediante disco de diamante industrial. En el cálculo se usa la fórmula :

$$Pot=HPu*MRR [HP]$$



NOTA: Mediante una comprobación técnica, se realiza el cálculo y se logra estimar la potencia unitaria en el corte del material bituminoso.

Análisis dinámico en el disco diamantado

Cálculo de potencia necesaria para el proceso de corte con disco diamantado:

Figura 104: Análisis dinámico del disco diamantado

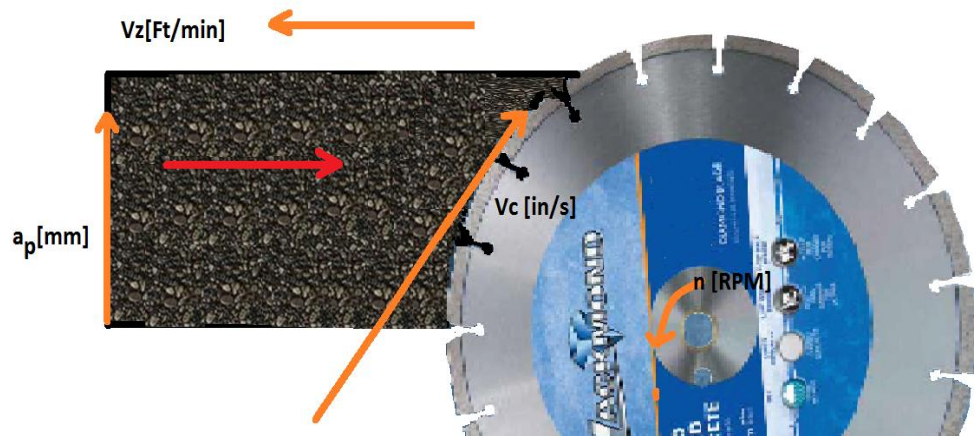


Tabla 5: Valores teóricos para la selección del disco de corte

Parámetro	Ecuación	Valor
Diámetro del disco		$D=18$ [in] $D=450$ [mm]
Numero de dientes		$z=27$ [dientes]
Espesor del diente		$ae=0.126$ [in] $ap=3.2$ [mm]
Avance por diente	$fz=Vzn*z$	$fz=0.005983$ [indiente] $fz=0.0152$ [mmdiente]
Velocidad de corte		$Vc=1574.8$ [ins] $Vc=40$ [ms]
Potencia útil	$Pot=HPu*MRR$	Pot=3.90 [HP] Pot=2908.23[W]
Potencia unitaria		$HPu=480$ [HPft3min]
Velocidad de avance		$Vz=720$ [mmmin] $Vz=23.62$ [inmin] $Vz=2.36$ [ftmin]
Profundidad de corte		$ap=3.94$ [in] =100 [mm]
Velocidad angular	$n=60*vc\pi*D$	$n=1697.65$ [RPM]
Velocidad de remoción de material	$MRR= vZ*ap*ae$	$MRR=14.05$ [in3min] $M=0.008136$ [ft3min]

Tipo de motor que se puede implementar en la cortadora

Motor de combustión

La máquina usada actualmente en la corporación, posee motor de combustión a gasolina en la que se requiere una recarga del tanque cada 2 horas (tiempo estimado de duración del combustible con la máquina en continua marcha); tarea que debe realizarse en posiciones penosas para el operario y toma alrededor de 15 minutos, interrumpiendo la continuidad y fluidez del proceso de muestreo en la corporación. Los inconvenientes de este tipo de motores, además de la demora en los tiempos de ejecución de la tarea de corte, las vibraciones y el ruido, son los elevados índices de partículas contaminantes que se pueden desprender por la combustión de la gasolina o cualquier otro líquido de ignición.



Motor eléctrico.

Por medio de este tipo de motores, se puede eliminar de raíz la producción de partículas volátiles contaminantes causadas por la combustión del motor, pues la alimentación se hace por medio de energía eléctrica, además que facilita el uso de la cortadora al no tener que invertirse tiempo en la recarga del tanque de combustible. Por otra parte, el uso de motores eléctricos facilita la implementación de un sistema de control adecuado y protegido, ya sea eléctrica o electrónicamente por medio de fusible o contactores termo magnéticos.

La función principal del equipo es realizar cortes transversales y longitudinales a las probetas fabricadas en el laboratorio de agregados y mezclas asfálticas. Su objetivo es obtener probetas con uniformidad dimensional estandarizadas para el uso posterior en los ensayos físicos de fatiga, deformación permanente, módulo de elasticidad y ahuellamiento WTT (Wheel Tracking Test).

De acuerdo a los cálculos realizados en el análisis y selección de la herramienta de corte, se considera la eficiencia mecánica del 85%. Para estimar que la potencia nominal del motor cubra los requerimientos del proceso:



$$Pot_{motor} = Pot_{nmech} = 3.90 \cdot 85 = 4,58 \text{ [HP]}$$




Análisis experimental

Se realiza la comprobación técnica para analizar el comportamiento del conjunto de corte y la relación de las variables que actúan en el proceso.

Descripción: para el análisis, se realizan cortes a diferentes probetas de material bituminoso provistas por Corasfaltos (longitud de corte: 450mm) en donde se hallará la potencia útil usada por el motor empleado.

Recursos:

-  Máquina perteneciente a los laboratorios del edificio Álvaro Beltrán Pinzón, que cuenta con un motor trifásico de 5HP a 220 V (Voltaje del sistema), y un disco diamantado para el corte de probetas.
-  Transformadores de corriente 50/5 (1).

-  Pinza amperimétrica (1).
-  Cronometro (1).
-  Vatímetros (2).

Velocidad de avance de la mesa de corte: Con la longitud del corte correspondiente a la longitud de la probeta (450 mm) y el tiempo necesario para realizar el corte, se calcula la velocidad promedio de avance. La persona que maneja la cortadora de la prueba mantiene una velocidad de avance constante con tiempos que oscilan entre 45 y 50 segundos.

Vatios consumidos en la comprobación técnica: mediante un sistema de medición se obtiene el consumo de potencia del motor trifásico. Se estima la potencia eléctrica consumida en la cortadora de probetas de material bituminoso.

Corriente consumida por el disco sin carga (en vacío): 6.5 [A]

Para la selección de la potencia del motor se normaliza el valor de potencia con un factor de seguridad de 8% y se estandariza a 5HP. En cuanto a la velocidad de rotación de la herramienta se aproxima a 1800rpm con 8% de factor de seguridad por efectos de irregularidades en la aglomeración de las muestras.

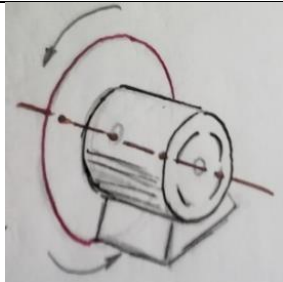

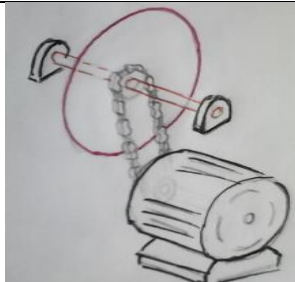
Sistema electro-mecánico: Consta de un motor de 5 Hp a 1800 Rpm, controlado por contactores y relés térmicos, como sistemas de protección ante sobrecargas eléctricas o esfuerzos excesivos en el funcionamiento del motor.

Evaluación y selección de alternativas de transmisión de potencia al disco de corte.

Se estudian tres opciones transmisión de potencia al disco de corte existentes para implementar en la cortadora, se realiza una evaluación para seleccionar la opción a implementar. Se evalúa de 1 a 5 de acuerdo a 5 criterios; se totaliza cada opción y se procede seleccionar la opción del tipo de transmisión de potencia:



Tabla 6: Transmisión de potencia para cortar bloques de material bituminoso

						
Opción A: Transmisión de potencia directa sobre el eje del disco de corte.	Opción B: Transmisión de potencia por medio de polea y correa.	Opción C: Transmisión de potencia por medio de piñón y cadena.				
OPCIÓN	SEGURIDAD	EFICIENCIA	MANTENIMIENTO	PRECISIÓN	COSTO	TOTAL
A	2	4	2	3	5	16
B	4	3	5	4	1	17
C	1	2	1	3	5	12

Conclusión

Se selecciona la opción B debido que esta posee el mayor resultado de acuerdo a los criterios de evaluación, beneficio del operario y la corporación.

7.1.2 Alineación y posicionamiento de probetas. Esta función garantiza la posición correcta de los bloques para el corte de muestras que se desea. Se debe facilitar la alineación del bloque respecto a una posición de referencia y facilitar la medición correcta de la línea de corte

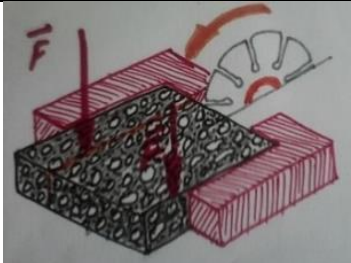
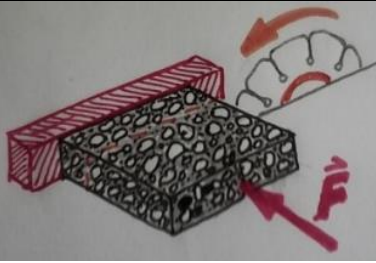
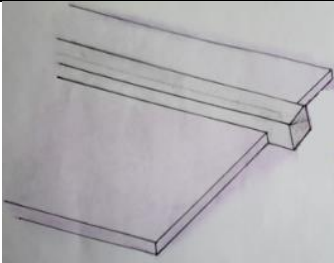
Sistema Físico: Ángulos, perfiles o piezas que eviten el posicionamiento erróneo de las probetas de material bituminoso.

Evaluación y selección de alternativas de alineación y posicionamiento de probetas.

Se estudian tres alternativas de alineación y posicionamiento de las probetas para implementar en la cortadora, se realiza una evaluación para seleccionar la opción a

implementar. Se evalúa de 1 a 5 de acuerdo a 5 criterios; se totaliza cada opción y se procede seleccionar la opción de mejores resultados:


Tabla 7: Alineación y posicionamiento de bloques de material bituminoso

 <p>Opción A: Alineación posterior y lateral del bloque.</p>	 <p>Opción B: Alineación lateral izquierda del bloque.</p>	 <p>Opción C: Guía de alineación posterior en la mesa.</p>				
OPCIÓN	SEGURIDAD	EFICIENCIA	MANTENIMIENTO	PRECISIÓN	COSTO	TOTAL
A	3	4	1	4	1	13
B	2	3	3	3	3	14
C	1	2	5	2	5	15

Se selecciona la opción C que obtiene el mayor valor. Esta cumple con los requerimientos, aportando al beneficio del operario y la corporación.

7.1.3 SUJECIÓN DE BLOQUES Y PROBETAS DE MATERIAL BITUMINO



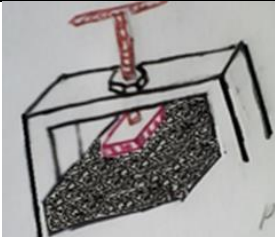
Esta función corre a cargo de un sistema, mecanismo o artefacto de sujeción de bloques y probetas de material asfáltico. Garantiza la continuidad de la línea de corte mediante la inmovilización del bloque y garantiza la seguridad durante el proceso que se realiza a la muestra, evitando que la pieza a cortar se mueva y afecte las características físicas y dimensionales del material debido a un ajuste sobredimensionado.

 **Sistema mecánico:** Sujeción de probetas y bloques de material bituminoso que evite que la muestra se mueva durante el corte, afectando su calidad y continuidad y que evite que la pieza sea bruscamente lanzada hacia el operador, causando lesiones de gravedad.

Evaluación y selección de alternativas de sujeción de probetas.

Se estudian tres alternativas de sujeción de probetas para implementar en la cortadora, se realiza una evaluación para seleccionar la opción a implementar. Se evalúa de 1 a 5 de acuerdo a 5 criterios; se totaliza cada opción y se procede a seleccionar la opción de mejores resultados:

Tabla 8: Sujeción de bloques de material bituminoso

						
Opción A: Sujeción con mecanismo de tres barras.	Opción B: Sujeción del bloque con excéntrica.	Opción C: Sujeción del bloque con tornillo.				
OPCIÓN	SEGURIDAD	EFICIENCIA	MANTENIMIENTO	PRECISIÓN	COSTO	TOTAL
A	2	3	2	4	2	13
B	1	2	1	3	3	10
C	4	4	5	4	1	18

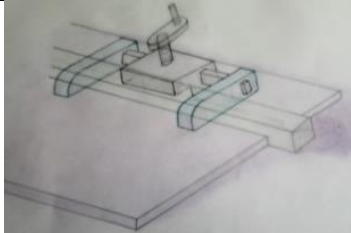
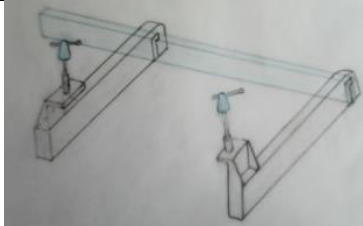
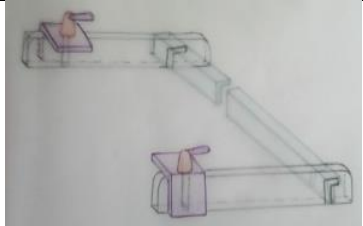
Conclusión

Se selecciona la opción C que obtiene el mayor valor. Esta cumple con los requerimientos, aportando al beneficio del operario y la corporación.

Evaluación y selección de alternativas de acoplado del sistema de sujeción al sistema de alineación y posicionamiento de probetas.

Se presentan tres alternativas de acoplado del sistema de sujeción (mecanismo de tornillo) al sistema de alineación y posicionamiento de las probetas:

Tabla 9: Alineación y sujeción de bloques de material bituminoso

						
Opción A: Sujeción con alineación frontal de la pieza de corte.	Opción B: Sujeción con alineación lateral integrada.	Opción C: Sujeción con alineación lateral e independiente.				
OPCIÓN	SEGURIDAD	EFICIENCIA	MANTENIMIENTO	PRECISIÓN	COSTO	TOTAL
A	2	5	5	1	5	13
B	5	4	3	4	1	17
C	4	3	4	3	4	20

Se selecciona la opción C por obtener el mejor resultado de acuerdo a los criterios de selección, cumplimiento de requerimientos y por el aporte a la seguridad industrial.

7.1.4 Desplazamiento para el corte. Esta función guía el corte de forma automática en un avance continuo, con el propósito mantener la uniformidad requerida en el material de extremo a extremo.

Sistema electro-mecánico: Consta de un moto-reductor de velocidad constante de 1800 a 170rpm y ½Hp, con finales de carrera eléctricos y contactores de protección electro mecánica.




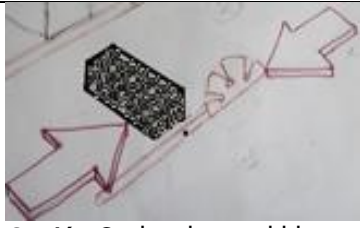
 **Evaluación y selección de alternativas de desplazamiento de probetas.** Se estudian tres alternativas de desplazamiento de probetas para implementar en la cortadora, se realiza una evaluación para seleccionar la opción a implementar. Se evalúa de 1 a 5 de acuerdo a 5 criterios; se totaliza cada opción y se procede a seleccionar la opción de mejores resultados:

Tabla 10: Conceptos de desplazamiento de bloques de material bituminoso
Conclusión

						
Opción A: desplazar el bloque manteniendo fijo el disco.	Opción B: desplazar el disco manteniendo fijo el bloque.	Opción C: desplazar el bloque y el disco simultáneamente.				
OPCIÓN	SEGURIDAD	EFICIENCIA	MANTENIMIENTO	PRECISIÓN	COSTO	TOTAL
A	4	4	5	4	5	22
B	3	3	4	3	4	17
C	2	2	3	2	3	12

Se selecciona la opción A debido a que obtiene el mayor resultado. Esta cumple con los requerimientos, aportando al beneficio del operario y la corporación.

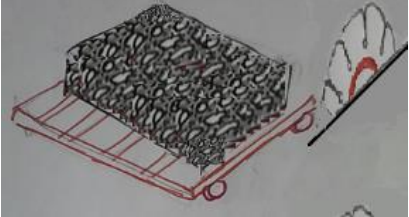

 **Evaluación y selección de alternativas de movimiento de probetas.**

Se estudian 2 alternativas de movimiento, manual y automática, de probetas para implementar en la cortadora, se realiza una evaluación para seleccionar la opción a implementar. Se evalúa de 1 a 5 de acuerdo a 5 criterios; se totaliza cada opción y se procede a seleccionar la opción de mejores resultados:

Conclusión

Se selecciona la opción B debido a que obtiene el mayor resultado. Esta cumple con los requerimientos, aportando al beneficio del operario y la corporación.


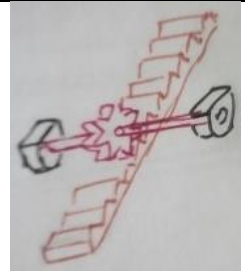
Tabla 11: Movimiento de desplazamiento de bloques de material bituminoso

						
<p>Opción A: Carro con rodamientos guiados para mover el bloque.</p>	<p>Opción B: Mesa automatizada que desplaza el bloque para el corte.</p>					
OPCIÓN	SEGURIDAD	EFICIENCIA	MANTENIMIENTO	PRECISIÓN	COSTO	TOTAL
A	1	4	5	3	4	17
B	5	5	2	5	1	18

Evaluación y selección de mecanismos de desplazamiento de probetas.

Se estudian 2 mecanismos de desplazamiento de probetas para implementar en la cortadora, se realiza una evaluación para seleccionar la opción a implementar. Se evalúa de 1 a 5 de acuerdo a 5 criterios; se totaliza cada opción y se procede a seleccionar la opción de mejores resultados:

Tabla 12: Mecanismos de desplazamiento de bloques de material bituminoso


						
<p>Opción A: Sistema de desplazamiento con tornillo sinfín y tuerca.</p>	<p>Opción B: Sistema de desplazamiento con cremallera y piñón.</p>					
OPCIÓN	SEGURIDAD	EFICIENCIA	MANTENIMIENTO	PRECISIÓN	COSTO	TOTAL
A	3	4	3	2	1	13
B	2	1	3	1	5	12

Conclusión

Se selecciona la opción A debido a que obtiene el mayor resultado. Esta cumple con los requerimientos, aportando al beneficio del operario y la corporación.

7.1.5 Control de funciones. Este sistema comprende la tarea de controlar las funciones de la cortadora, en un solo conjunto para facilitar la comprensión e integración de los mandos de control en un solo elemento que sea más fácil de comprender y manipular.

Sistema eléctrico: Conjunto de pulsadores y otros elementos eléctricos de control como contactores y relés térmicos que accionan las funciones de la cortadora

 Evaluación y selección de alternativas de control de corte.

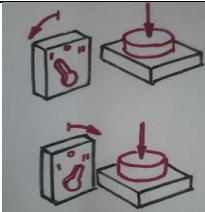

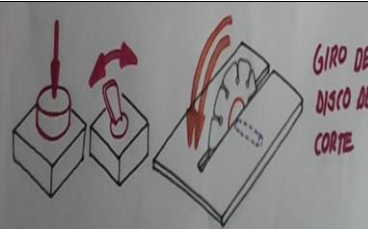
Se estudian tres alternativas del control de corte de probetas para implementar en la cortadora, se realiza una evaluación para seleccionar la opción a implementar. Se evalúa de 1 a 5 de acuerdo a 5 criterios; se totaliza cada opción y se procede a seleccionar la opción de mejores resultados:

Conclusión

Se selecciona la opción A debido a que obtiene el mayor resultado. Esta cumple con los requerimientos, aportando al beneficio del operario y la corporación.



Tabla 13: Control de funciones de la cortadora

 <p>Opción A: pulsador para las funciones eléctricas de la cortadora</p>	 <p>Opción B: combinación de pulsador, llaves y palanca para todo el sistema eléctrico.</p>	 <p>Opción C: palanca-pulsador para todo el sistema eléctrico.</p>				
OPCIÓN	SEGURIDAD	EFICIENCIA	MANTENIMIENTO	PRECISIÓN	COSTO	TOTAL
A	5	4	1	5	5	20
B	3	2	4	3	4	16
C	2	4	2	2	3	13

7.1.6 Parada de seguridad



Esta función brinda la opción de detener abruptamente el funcionamiento de la cortadora para evitar daños al disco, a la probeta y al sistema de desplazamiento, debido a alguna irregularidad dentro de la mezcla asfáltica de la probeta o en caso de peligro inminente de accidente.

Sistema electro-mecánico: Consta de pulsador de emergencia y un conjunto de contactores y relés térmicos, como sistemas de protección ante posibles accidentes o para protección de la cortadora o del material de muestreo.

Evaluación y selección alternativas de parada de seguridad.

Se estudian 2 alternativas de parada de seguridad para el corte de probetas; se realiza una evaluación para seleccionar la opción a implementar. Se evalúa de 1 a 5 de acuerdo a 5 criterios; se totaliza cada opción y se procede seleccionar la opción de mejores resultados:



Tabla 14: Parada de seguridad de la cortadora de material bituminoso

 <p>Opción A: parada de emergencia tipo pulsador con señalización externa.</p>	 <p>Opción B: pulsadores con señalización interna en área de contacto con el pulsador.</p>					
OPCIÓN	SEGURIDAD	EFICIENCIA	MANTENIMIENTO	PRECISIÓN	COSTO	TOTAL
A	5	3	4	3	1	16
B	2	2	3	1	5	13

Conclusión

Se selecciona la opción A debido a que obtiene el mayor resultado. Esta cumple con los requerimientos, aportando al beneficio del operario y la corporación.

7.1.7 Diagrama funcional de la cortadora. El esquema mostrado en la figura 13 representa a grandes rasgos la estructura funcional de la cortadora desde el inicio del proceso de corte. Cabe anotar que antes de iniciar con este proceso, el operario debe transportar el bloque de material asfáltico de la compactadora a la cortadora y de igual manera debe mover las probetas resultantes cuando ya estén terminadas. El proceso completo consta de las siguientes acciones operativas:

-  Transporte y descargue del bloque.
-  Alineación y posicionamiento de la panela de acuerdo a los requerimientos dimensionales del laboratorio. Al posicionar la probeta, se alinea respecto una guía que garantice la continuidad de la línea de corte.






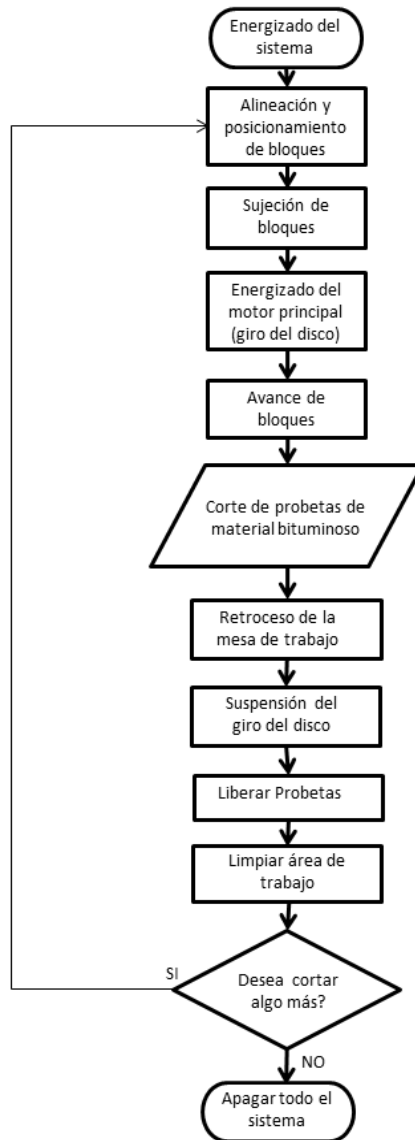
-  Ajuste y/o sujeción del bloque para el corte. Al ser sujeta por medio del sistema de sujeción, se evitan las vibraciones y/o desplazamiento innecesarios del bloque durante el proceso de corte, se garantiza la calidad del mismo y la uniformidad dimensional de las muestras.
-  Encendido de la cortadora. Por medio del sistema de control se energiza todo el sistema para realizar el proceso de corte.
-  Corte de la probeta. A través del sistema de control de operaciones, se avanza, retrocede y suspende hasta completar el corte (en caso de ser necesario, se recurrirá a la parada de emergencia).
-  Apagado de la cortadora. Mediante el sistema de control se desenergiza todos los sistemas.
-  Desmontaje y transporte de la muestra a los laboratorios de la corporación. De nuevo se recurre al sistema de sujeción, esta vez para liberar la probeta terminada y se transporta a los respectivos equipos donde se realizaran los ensayos físicos a que dé lugar.



Figura 115: Diagrama funcional de la cortadora de material bituminoso en Corasfaltos

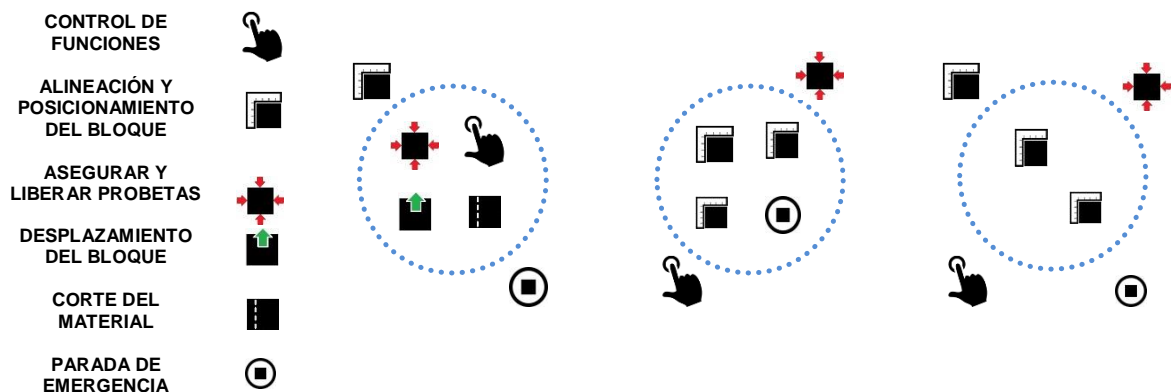


7.2 CONCEPTOS DE SOLUCIÓN DE LA CORTADORA

PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DE SISTEMAS FUNCIONALES

Para el funcionamiento de la cortadora se requiere la conjunta participación de todos los sistemas. Por medio del diagrama de la figura 14 se muestra las posibles alternativas de ubicación de cada uno de ellos dentro de la cortadora o fuera de su estructura. Al conocer de antemano las medidas estándar necesarias para su implementación, se parte de los datos ergonómicos del trabajo de pie y el área de trabajo para la altura, ancho y profundidad (entre otros requerimientos) y se generan alternativas según la ubicación de los componentes en la cortadora.

Figura 126: Alternativas de distribución de los sistemas funcionales dentro y fuera de la cortadora de material bituminoso en Corasfaltos



7.3 DEFINIR Y COMBINAR CONCEPTOS DE SOLUCIÓN

Se definen y combinan los conceptos de solución del equipo de corte que pueden ser incluidos o implementados dentro del diseño de la cortadora mediante una evaluación bajo la vista crítica de la ergonomía, la técnica, la funcionalidad y la estética.

7.3.1 Generación de alternativas

Tabla 15: *Alternativa de solución*

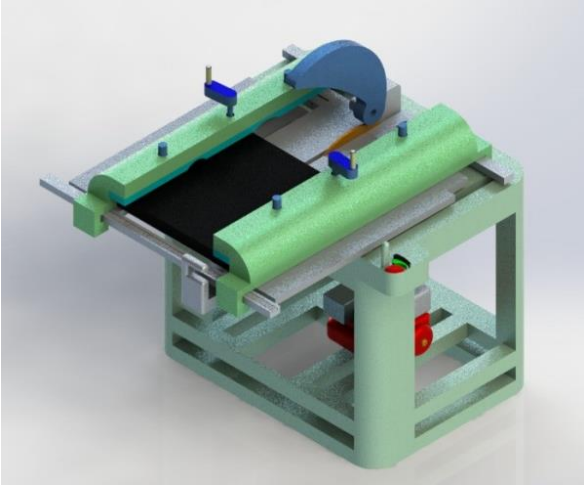
ALTERNATIVA 1	Descripción
	<p>Se considera una estructura robusta en forma de paralelepípedo. Al tener refuerzos laterales en su interior, permite soportar los sistemas de desplazamiento, sujeción y corte. En esta propuesta, el proceso principal que realiza el corte se hace por cizallamiento donde el bloque de material bituminoso se desplaza por medio de la placa superior donde está sujeto. Los mandos se encuentran fijos a la estructura en la parte frontal derecha de la cortadora, de frente al operario. Sistema de alineación y sujeción complejo.</p>

Tabla 16: *Alternativa de solución 2*

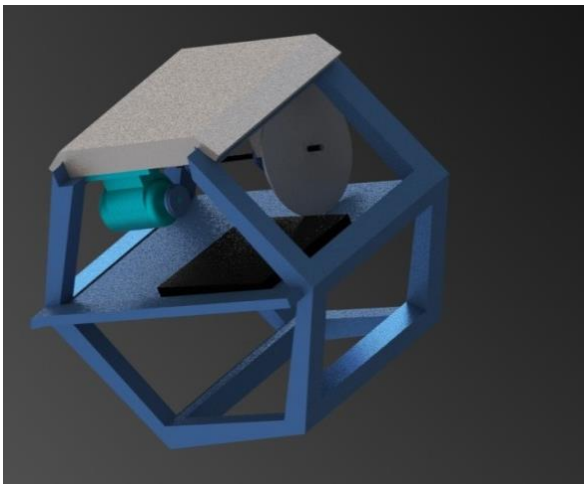
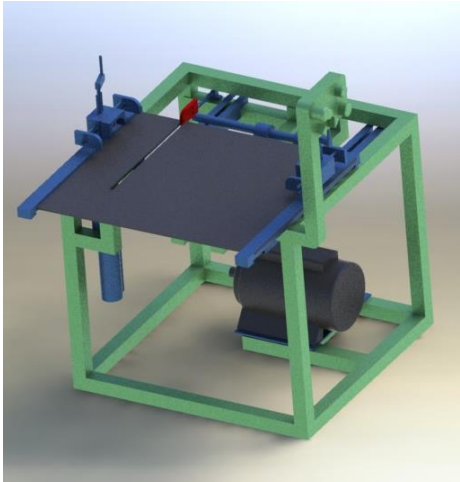
ALTERNATIVA 2	Descripción
	<p>Se propone a partir de la configuración de una estructura en forma de prisma hexagonal donde la placa superior soporta el sistema de corte que se desplaza a través de la estructura. El corte es realizado por medio de un disco diamantado, especial para el corte de concreto y asfalto. La probeta de material bituminoso se encuentra sujeta a una placa ubicada en la zona media de la estructura.</p>

Tabla 17: Alternativa de solución 3


ALTERNATIVA 3	
	<p>Descripción</p> <p>Esta propuesta semejante a la anterior en el uso de disco diamantado para efectuar el corte, posee dos placas: una para soportar el eje del disco y otra más elevada que soporta el sistema de sujeción. Justo en medio de ellas está ubicado el sistema de desplazamiento de la placa superior. Dicha placa cuenta con perforaciones que sirven de guía para alinear las probetas de acuerdo a las medidas requeridas. El sistema de alineación funciona manual-mente y de forma independiente al resto de sistemas. El disco de corte se encuentra centrado en la estructura cúbica principal, a fin de distribuir las vibraciones. El motor principal que acciona el disco está ubicado dentro de la estructura en la parte inferior con el objetivo de estabilizar la estructura y evitar vibraciones.</p>

Tabla 18: Alternativa de solución 4

ALTERNATIVA 4	
	<p>Descripción</p> <p>Esta alternativa basa su estructura en la forma de un cubo que sostiene los demás sistemas funcionales. El corte de material bituminoso es realizado por un haz de luz de alta potencia que perfora la probeta a través de una línea guía proyectada sobre la muestra. El sistema de sujeción se mueve manualmente sobre los rieles ubicados a lado y lado de la placa superior que se desplaza para realizar el avance o retroceso electromecánico del corte. La sujeción de la muestra se hace de forma manual. La alineación de la muestra se hace manualmente de acuerdo a una regleta ubicada sobre los rieles del sistema de sujeción. Los controles fijos están ubicados al costado derecho de la cortadora</p>

7.3.2 Evaluación de alternativas según los requerimientos.

Tabla 19: Evaluación de alternativas 1 a 4, según requerimientos

		Evaluación de alternativas para la cortadora de probetas de material bituminoso en Corasfaltos, según requerimientos.			
		FASE II: ETAPA DE DISEÑO CONCEPTUAL			
No.	REQUERIMIENTO	ALTERNATIVA			
		1	2	3	4
ESPECIFICACIONES DE LA CORTADORA	1				
	2	●		●	●
	3	●		●	●
	4			●	●
	5	●			●
	6		●		
	7				●
	8	●			●
	9		●	●	
CONTROL Y SEÑALÉTICA	10		●		
	11	●	●	●	●
	12				●
	13	●		●	
	14	●	●	●	●
	15				●
	16				
PROCESO DE CORTE	17		●	●	●
	18	●			●
	19	●			●
	20	●			●
	21			●	
	22			●	
	23			●	●
OTROS ASPECTOS	24				
	25				
	26				
	27				



7.3.3 Combinar variantes de conceptos de solución. Mostrando los sistemas funcionales principales de cada alternativa de cortadora dentro de una matriz morfológica, se evalúan y examinan los conceptos de solución más acertados para realizar combinaciones de alternativas por pares.

Matriz Morfológica de combinación de alternativas

Tabla 20: Matriz morfológica de combinación de alternativas

ESTRUCTURA FUNCIONAL	ALTERNATIVA			
	1	2	3	4
ESTRUCTURA DE LA CORTADORA				
SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO				
SISTEMA DE SUJECIÓN				
SISTEMA DE CORTE				
SISTEMA DE CONTROL				

7.3.4 Alternativas resultantes. Producto de la combinación de conceptos de la matriz morfológica se han obtenido las alternativas A y B descritas en las tablas 24 y 25, respectivamente:

Tabla 21: Alternativa Resultante A

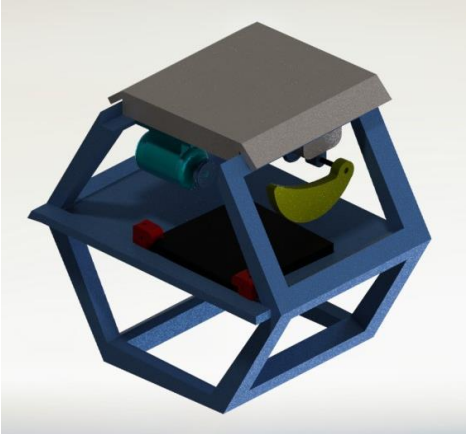
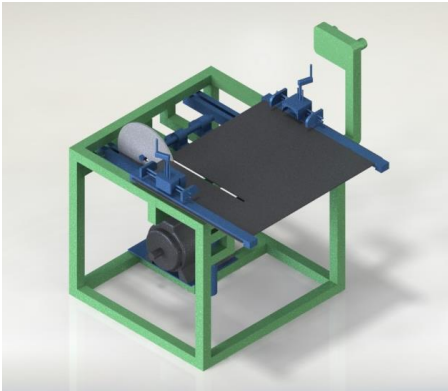
<p style="text-align: center;">ALTERNATIVA A</p> 	<p>Descripción</p> <p>Esta alternativa resultante, se configura a partir de un bastidor en forma de prisma hexagonal donde la placa superior soporta el sistema de corte que se desplaza a través de la estructura. El corte es realizado por medio de un sistema de rayado y cizallado que atraviesa la panela sujeta a la placa ubicada en la zona media de la estructura. El sistema de control de la cortadora trabaja a partir de un Controlador lógico programable (PLC) que controla y distribuye la energía de los componentes electro-mecánicos de los otros sistemas.</p>
--	--

Tabla 22: Alternativa Resultante B

<p style="text-align: center;">ALTERNATIVA B</p> 	<p>Descripción</p> <p>Esta alternativa basa su estructura en la forma de un cubo que sostiene los demás sistemas funcionales. El corte de material bituminoso es realizado por un disco diamantado que atraviesa la probeta a través de una trayectoria lineal y constante. El sistema de sujeción se basa en un par de prensas manuales ubicadas a los dos costados de la línea de corte sobre la placa superior que se desplaza para realizar el avance o retroceso electromecánico del corte. La alineación de la muestra se hace manualmente de acuerdo a una regleta ubicada sobre los rieles del sistema de sujeción. Los controles fijos están ubicados al costado derecho de la cortadora</p>
---	--

7.3.5 Evaluación de alternativas A y B según los requerimientos y el aspecto económico.

Tabla 23: Evaluación de alternativas A y B, según requerimientos



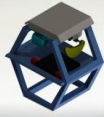
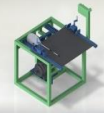
		Evaluación de alternativas resultantes A y B según requerimientos.		
		FASE II: ETAPA DE DISEÑO CONCEPTUAL		
		ALTERNATIVA		
		A	B	
				
ESPECIFICACIONES DE LA CORTADORA	No. 1	La cortadora esta provista de guardas o elementos que protegen al operario de lesiones causadas por el desprendimiento de material asfáltico.	●	
	No. 2	La postura adoptada al operar la cortadora no genera problemas físicos en el operario.		●
	No. 3	La altura del plano de trabajo de la cortadora es adecuada para el tipo de tarea.		●
	No. 4	El diseño de la cortadora permite la mayor visibilidad de la probeta durante el corte.		●
	No. 5	La disposición de los componentes y los materiales usados en la cortadora son los adecuados para garantizar un proceso de corte seguro.	●	●
	No. 6	La cortadora permite sujetar las probetas de forma sencilla y segura.	●	
	No. 7	El uso de los componentes de la cortadora no requiere sobre esfuerzos por parte del operario.		●
	No. 8	La estructura de la cortadora permite mayor estabilidad.		●
	No. 9	La distribución de los componentes, sistemas y subsistemas de la máquina facilitan su uso y mantenimiento.	●	●
CONTROL Y SEÑALÉTICA	No. 10	La cortadora tiene aristas y bordes suavizados que evitan cortes o lesiones en el operario.	●	
	No. 11	La cortadora es fácil de encender.	●	●
	No. 12	La cortadora es fácil de operar.		●
	No. 13	Los controles de la cortadora están ubicados en lugares asequibles.	●	●
	No. 14	La cortadora cuenta con un control o mecanismo para suspender el proceso de corte.	●	●
	No. 15	La cortadora cuenta con un control o mecanismo de parada de emergencia.	●	●
PROCESO DE CORTE	No. 16	Los controles e indicadores de la cortadora tienen un lenguaje claro y de fácil de comprensión.	●	
	No. 17	La cortadora disminuye los niveles de ruido causados durante el corte de probetas de material bituminoso.	●	●
	No. 18	El contacto del operario con la pieza es el mínimo requerido para disminuir los riesgos a sufrir afectaciones causadas por la vibración durante el proceso de corte.	●	●
	No. 19	La cortadora permite reducir la emisión de partículas volátiles causadas por el motor y por efectos del corte de las muestras.	●	●
	No. 20	La cortadora de material bituminoso permite crear un ambiente más ventilado y menos adverso para el operario.	●	●
	No. 21	El proceso de corte de la cortadora de viga asfáltica garantiza la uniformidad dimensional de las probetas.	●	●
	No. 22	La cortadora posee una velocidad de corte y de avance adecuada para realizar la tarea sin que la pieza sea dañada.	●	●
	No. 23	Los esfuerzos realizados por el operario del corte de muestras son los mínimos permisibles.		●
OTROS ASPECTOS	No. 24	La cortadora permite que su limpieza y mantenimiento se realicen fácilmente.		●
	No. 25	El operario está capacitado para operar la cortadora correctamente.		
	No. 26	La cortadora cuenta con un diagrama de uso o un manual de usuario.		
	No. 27	El operario usa los Elementos de Protección Personal EPP durante el proceso de corte.		



Tabla 24: Evaluación de alternativas A y B, según otros aspectos

		Evaluación de alternativas resultantes A y B según otros aspectos. FASE II: ETAPA DE DISEÑO CONCEPTUAL	
		ALTERNATIVA	
No.	ASPECTO	A	B
			
1	Bajo costo de producción.		●
2	Bajo costo de mantenimiento.		●
3	Accesibilidad de repuestos. Partes estandarizadas.	●	●
4	Controlado por un solo operario.	●	●
5	Fácil acceso de los controles que usan con mayor frecuencia	●	

NOTA IMPORTANTE

Inicialmente Corasfaltos planeaba reutilizar el motor de combustión de la cortadora de piso actual para incluirlo en el diseño de la cortadora de material bituminoso y reducir gastos, sin embargo, al observar las ventajas del uso de un motor eléctrico, se logró convencer a los directivos de la Corporación a cambiar de decisión y optar por el motor eléctrico.

7.3.6 Tipo de motor que se pueden implementar en la cortadora. La tabla 28 proporciona un listado de la protección que debe utilizar un motor eléctrico, ya sea por medio de fusible o por medio de interruptor termo magnético. Según Información suministrada por el técnico de la empresa *Motores y Motores*, distribuidores autorizados por siemens en Bucaramanga.

Tabla 25: Corriente de consumo y protección de un motor a 115v, 220v y 440v de tensión

HP	KW	115v			220v			440v		
		I	FUS	PROT	I	FUS	PROT	I	FUS	PRO
1/6	0.12	4.4	8	16						
1/4	0.19	5.8	10	16						
1/3	0.25	7.2	16	20						
1/2	0.37	9.8	20	25	2.2	4	6	1.1	2	4
3/4	0.56	13.8	25	40	3.2	6	10	1.6	4	4
1	0.75	16	32	40	4.2	8	10	2.1	4	6
1.5	1.12	20	40	50	6	10	16	3	6	10
2	1.49	24	50	63	6.8	16	20	3.4	6	10
3	2.24	34	63	82	9.6	20	25	4.8	8	16
5	3.73	56	100	150	15.2	32	40	7.6	16	20
7.5	5.60	80	160	200	22	40	63	11	20	32
10	7.46	100	200	250	28	50	80	14	25	40
15	11.2	131	250	350	42	80	125	21	40	63
20	14.9				54	100	150	27	50	82
25	18.7				68	125	175	34	63	100
30	22.4				80	160	200	40	80	100
40	29.8				104	200	300	52	100	150
50	37.3				130	250	300	65	125	175

(Fuente, www.honda-engines-eu.com).

Cálculo de corriente para un motor:

$$I_p = \frac{P}{E \cos \theta N}$$

Donde el significado de cada una de las literales es:

I_p = Corriente nominal o a plena carga que consume un motor [amperios, a]

P = Potencia que desarrolla un motor [watts o kilowatts, W]

E = Tensión a la que se conecta el motor [voltios, v]

cos θ = Factor de potencia

N = Rendimiento del motor

$I_p = P / \sqrt{3} E \cos \theta N$

NOTA: El valor de las literales el mismo

Calculo de la corriente para el Motor trifásico a 220v de tensión

La elección del tipo de motor a implementar en la cortadora se basó en información dada por personal especializado de la empresa *Motores & Motores* (distribuidores autorizados de siemens en Bucaramanga), sin embargo, se realizaron los cálculos



respectivos para verificar la corriente que consume un motor siemens de 5 hp a 1800 rpm bifásico trifilar.

Calculo de la corriente que consume un motor trifásico que se conecta a una tensión de 220 volts. Los demás datos están consignados en la placa de especificaciones del motor: Potencia 5HP, factor de potencia 0.65 en atraso y rendimiento de 50%.

$$I_p = ?$$

$$E = 220v \quad I_p = P / \sqrt{3} E \cos \theta$$





$$F.P. = 0.80$$

$$N = 0.80 \quad I_p = 3730 / 1.732 * 220 * 0.8 * 0.85$$

$$P = 3.73 \text{ KW} = 5 \text{ H.P.}$$

$$I_p = 15.29 \text{ Amperios}$$

Elementos principales requeridos para el sistema eléctrico

-  Sistema de encendido para energizar la maquina
-  Encendido para el motor del sistema de avance y retroceso
-  Encendido del motor para la sierra
-  Parada de seguridad



8. FASE III: DISEÑO DE INGENIERÍA.

8.1 DISEÑO PRELIMINAR DE LA CORTADORA DE MATERIAL BITUMINOSO DE ACUERDO A LOS REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS EN LA PRIMERA FASE.

Basado en los conceptos seleccionados, se desarrolla un modelo de mayor ingeniería, en el que se hacen los cálculos básicos necesarios para asegurar la funcionalidad y eficacia de la cortadora de acuerdo con las consideraciones técnicas, ergonómicas, económicas y de producto.

En esta etapa se realiza el primer plano de conjunto donde se explica el funcionamiento de la máquina. Se preparan los planos de conjunto de la máquina de corte, se precisan sus medidas y tolerancias, y se prepara toda la información necesaria para la fabricación de los componentes y del equipo en sí

8.2 COMPLETAR Y OPTIMIZAR LOS DISEÑOS PRELIMINARES DEL CONCEPTO DE LA CORTADORA DE MATERIAL BITUMINOSO

Se completan y optimizan los diseños preliminares con los que se culminó el diseño conceptual mediante modelado CAD, dando prioridad al correcto funcionamiento del equipo y a la seguridad del operador durante su utilización para evaluar e identificar posibles mejoras en el conjunto y realizar los últimos ajustes al sistema.



Figura 137: Captura de pantalla, modelado CAD de la cortadora

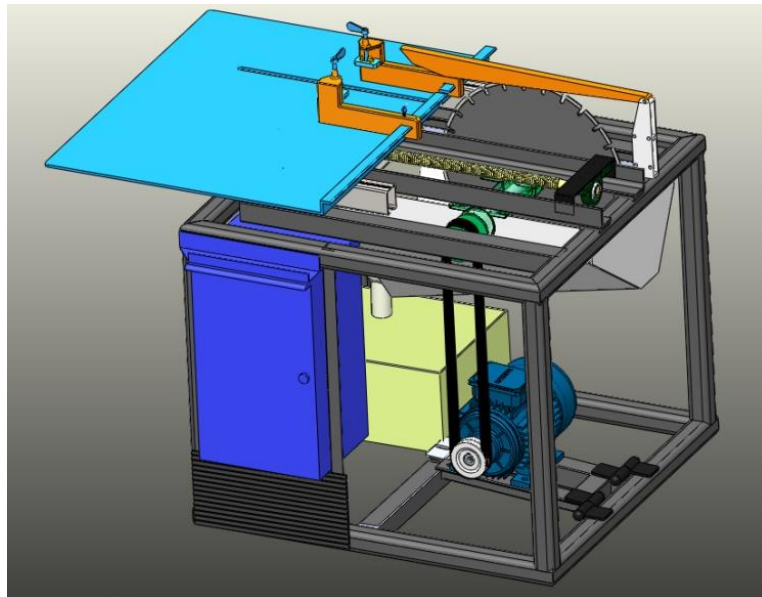
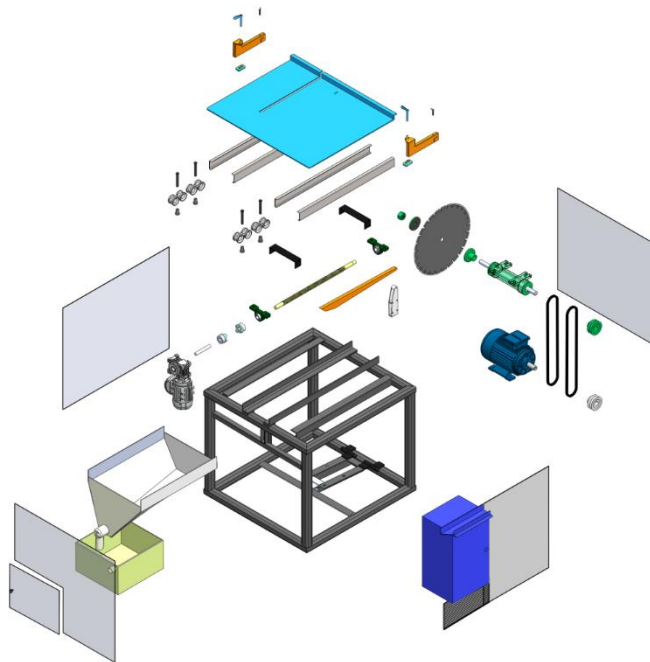


Figura 18: Captura de pantalla, vista explosionada de la cortadora



8.3 VERIFICAR

Se verifica, mediante cálculos estáticos y análisis de elementos finitos en las piezas o componentes de mayor cuidado y atención, las características físicas de resistencia a esfuerzos y deformaciones, de manera que se cumpla con los factores de seguridad requeridos para la cortadora.

Se realiza el cálculo de las cargas estáticas en el eje del disco y selección de rodamientos. La relación de poleas es 1:1 para mantener la velocidad del motor siemens de 5HP que acciona el disco diamantado de 18 pulgadas y se recomiendan dos correas para una mejor transferencia de potencia y por seguridad en caso de que alguna sufra alguna rotura.

8.3.1 Cálculos estáticos en las principales partes de la cortadora

Cargas estáticas en el eje del disco

Figura 149: Diagrama de fuerzas del eje del disco

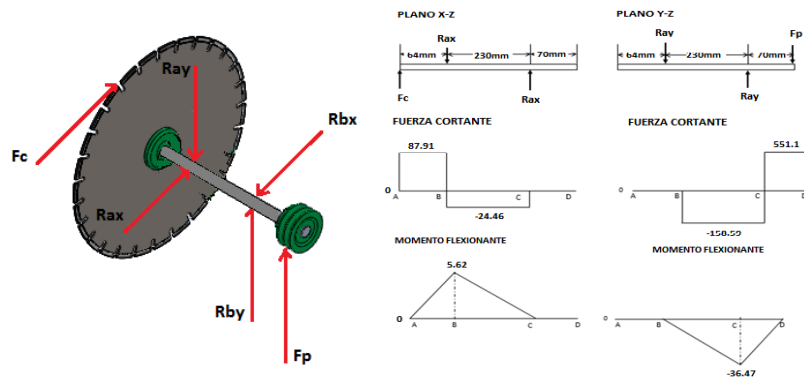


Tabla 26: Cálculos estáticos del eje del disco

MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN- ECUACIÓN	TOTAL
Reacción del rodamiento b, en el eje y	$\sum Fy = \uparrow + Fc + R_{ay} + R_{by} - Fc = 0$	$R_{by} = 679.69 [N]$
Reacción del rodamiento a, en el eje y	$\sum M_b = 0 \curvearrowright + F_p \times 0.07 - R_{ay} \times 0.230 = 0$	$R_{ay} = 158.59 [N]$
Reacción del rodamiento b, en el eje x	$\sum Fx = 0 \rightarrow + Fc - R_{ax} + R_{bx} = 0$	$R_{ax} = 24.26 [N]$
Fuerza cortante	$T = F_c \times D / 2$	$F_c = 87.91 [N]$
Torque	$Pot = T \times n$	$Pot = 19.78 [N \times m]$
Fuerza flexionante	$F_1 + F_2$	$F_p = 521.1 [N]$
Reacción del rodamiento a, en el eje x	$\sum M_b = 0 \curvearrowleft + F_c \times 0.294 - R_{ax} \times 0.230 = 0$	$R_{ax} = 112.37 [N]$
Potencia		$Pot = 3728.5 [W]$
Velocidad angular del disco		$n = 1800 [RPM]$ $n = 188.49 [Rad/s]$
Diámetro del disco diamantado		$D = 450 [mm]$

Análisis de esfuerzo del marco de la estructura

Figura 20: Diagrama de fuerzas de la estructura

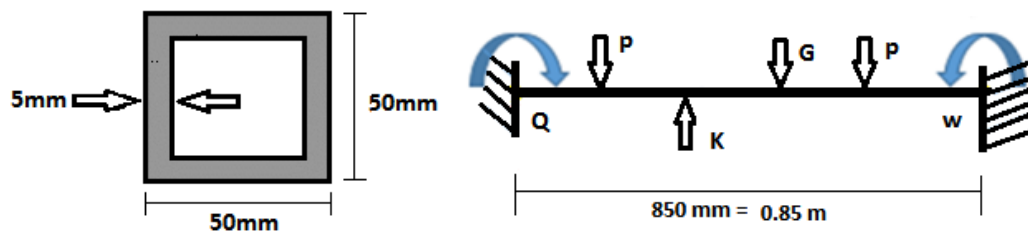


Tabla 27: Cálculos estáticos de la estructura

MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN - ECUACIÓN	TOTAL
Módulo de elasticidad	Acero estructural	$E=210\text{Gpa}$
Fuerzas G, K y P. La fuerza P esta aplicada sobre el área del elemento de la estructura.	Fuerzas G y K son reacciones producidas por los perfiles. Fuerza P fue hallada en el cálculo del perfil.	$G=264.52[\text{N}]$ $K=81.24[\text{N}]$ $P=589.6[\text{N}]$
Esfuerzo a la fluencia	Acero estructural	$Sy=317\text{ Mpa}$
Distancia al eje neutro	$C= 50\text{mm}/2$	$C=25\text{mm}$ $C=0.025\text{m}$
Factor de seguridad	$SF=Sy/ \sigma$	$SF=39.16$
Esfuerzo máximo	$\sigma=M \times C/I$	$\sigma=8.09\text{Mp}$
Inercia		$I=30.75\text{ cm}^3$
Reacciones Q y W		$Q=679.88[\text{N}]$ $W=711.44[\text{N}]$
Momentos Q y W		$MQ=82.23[\text{N}\times\text{m}]$ $MW=99.57[\text{N}\times\text{m}]$

Análisis del esfuerzo en el perfil que soporta la mesa de trabajo

Figura 151: Diagrama de fuerzas de la base de la mesa de trabajo

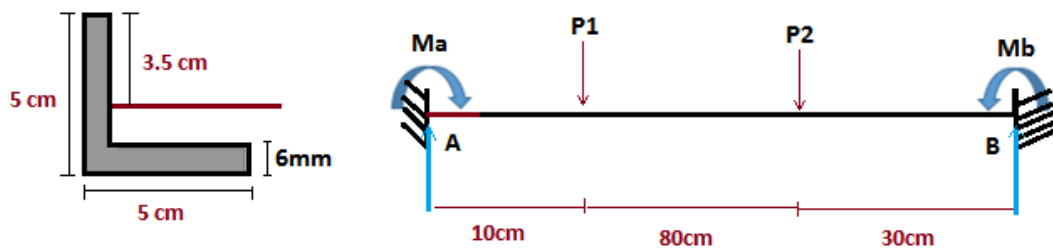


Tabla 28: Cálculos estáticos de la base de la mesa de trabajo

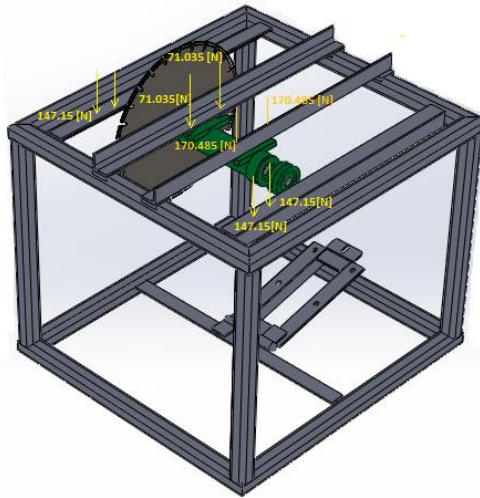
MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN - ECUACIÓN	TOTAL
Carga sobre el perfil	La carga y su valor en el perfil es el mismo que reciben los pernos u tornillos de forma individual.	$P=350.855[N]$
Cargas resultantes	Se obtiene del proceso estático tipo viga empotrada en los dos extremos.	$A = 589.6 [N]$ $B = 140 [N]$ $Ma = 69.87 [N \times m]$ $Mb = 30.38 [N \times m]$
Momento de inercia	Dato tomado de software [SW]	$I=131257.96 \text{ mm}^4$
Esfuerzo a la fluencia	Acero 1020	$Sy= 205 [Mpa]$
Esfuerzo máximo	$\sigma=M \times C/I$	$\sigma=18.82 \text{ Mpa}$
Carga Distribuida	$W=p \times g \times v$	$W=35[N]$
Factor de seguridad	$Sf=Sy/ \sigma$	$Sf=10.89$
Dist. máx. al eje neutro		$=3.5 \text{ cm}$
Módulo de elasticidad		$E=210000[Mpa]$
Momento de Inercia		$I= 12.8283\text{cm}^4$

Cargas en la estructura

MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN - ECUACIÓN	TOTAL
Peso del eje en cada punto de apoyo en la estructura	$W = 147.15/ 4$	$W = 36.8[N]$
Fuerza en el perfil	En dos puntos de apoyo se ejercen la fuerza sobre el perfil	$P=339.8 [N]$
Fuerza en cada uno de los puntos de apoyo	$Pp = W+P$	$Pp = 376.6[N]$



Figura 22: Cargas de la estructura



Análisis de esfuerzos del perfil crítico en la estructura

Figura 163: Diagrama de esfuerzos del perfil crítico de la estructura (fuente, autores).

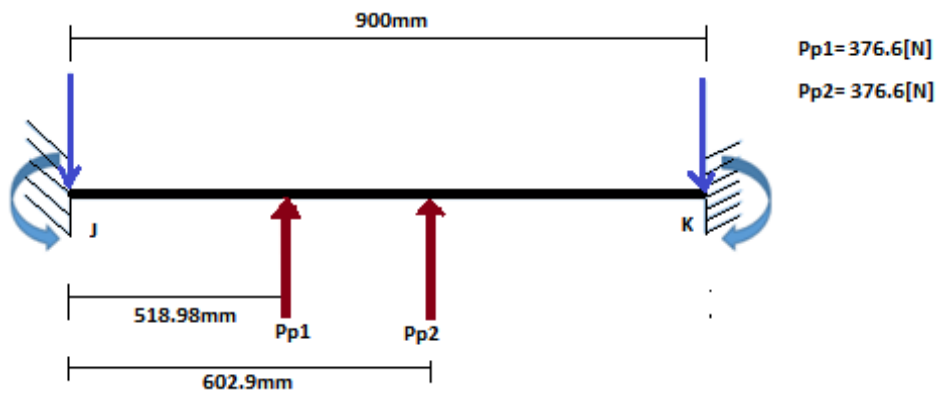


Tabla 29: Cálculos estáticos del perfil crítico de la estructura

MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN - ECUACIÓN	TOTAL
Cargas y momento resultantes	Se obtiene del proceso estático tipo viga empotrada en los dos extremos.	J=234.52 [N] K=504.99 [N] Mj=58.74 [Nxm]
Momento de inercia	Dato tomado de software [SW]	I=131257.96[mm ⁴] I=0.1213x10 ⁻⁶ [m ⁴]
Esfuerzo a la fluencia	Acero 1020	Sy= 205 [Mpa]
Esfuerzo máximo	$\sigma=M \times C/I$	$\sigma=25.84$ Mpa
Factor de seguridad	$Sf=S_y/\sigma$	Sf=7.93
Carga Distribuida	$W=p \times g \times v$ / distancia JK	W=15.2 [N/m]
Módulo de elasticidad		E=210000[Mpa]
Distancia máxima al eje neutro		C=3.5 [cm] C=0.035 [m]

Selección de rodamientos para el eje del disco

Tabla 30: Selección de rodamientos para el eje del disco

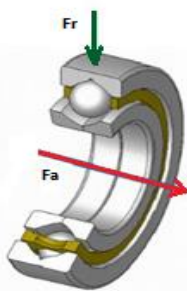
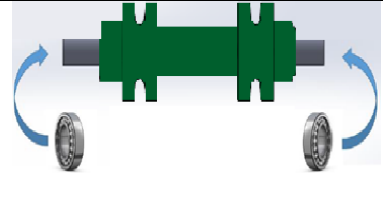
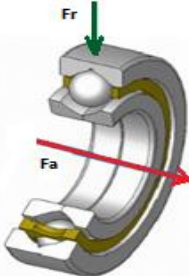

FUERZAS EN EL RODAMIENTO	DESCRIPCIÓN - ECUACIÓN	TOTAL
	Fuerza radial hallada en el cálculo del eje	Fr=679.69 [N]
	Fuerza axial	Fa= 0 [N]
	Diámetro del eje Nota: Al tener los datos anteriores se consulta el catalogo NSK, usando el diámetro del eje en la sección rodamientos de bolas recomendado para soportar cargas radiales, el catalogo sugiere tomar P=Fr	D= 25 mm
RODAMIENTO PARA EJE DEL DISCO	DESCRIPCIÓN – ECUACIÓN	TOTAL
	Datos encontrados en el catálogo NSK	B = 12 [mm] Cr = 14200 [N] Cor= 13100[N] r min=0.6 mm r1 min= 0.3 mm
	Carga dinámica equivalente $P = Fr$	P =679.69

Tabla 34. Continuación

	Revoluciones del eje	n= 1800 rpm
	Factor de velocidad $F_n = (0.03 \times n)^{3/10}$	$F_n = 0.3021$
	Factor de vida de fatiga $F_h = F_h \times (Cr/P)$	$F_h = 6.3558 [N]$
	Índice básico de vida $L_h = 500 \times F_h^{10/3}$	$L_h = 237795.7 h$

Selección de rodamientos para el tornillo de desplazamiento de la mesa

Tabla 31: Selección de rodamientos para el tornillo de desplazamiento de la mesa

FUERZAS EN EL RODAMIENTO DEL EJE DEL DISCO	DESCRIPCIÓN - ECUACIÓN	TOTAL
	Fuerza radial producida por el peso del tornillo una tuerca y dos rodamientos	$F_r = 44.145 / 2 [N]$ $F_r = 22.0725 [N]$
	Fuerza axial producida por la acción del tornillo y tuerca	$F_a = F \text{ tornillo} / 2$ $F_a = 554.75 / 2$ $F_a = 277.375 [N]$
	Diámetro del tornillo se toma diámetro primitivo de rosca. Nota: Al tener los datos anteriores se consulta el catálogo NSK, usando el diámetro del eje en la sección rodamientos de bolas de contacto angular recomendado para soportar cargas axiales como radiales.	D= 20 mm
RODAMIENTO PARA TORNILLO DE DESPLAZAMIENTO DE LA MESA	DESCRIPCIÓN – ECUACIÓN	TOTAL
	Datos encontrados en el catálogo NSK	B= 12 [mm] Cr=11100 [N] Cor= 6550[N] Fo=14 r min=0.6 mm r1min= 0.3 mm
	Carga dinámica equivalente factor= $(ixfo \times fa) / Cor$ (Este factor se inserta en la tabla B-53 del catálogo NSK)	factor =0.5928
	Variable e del catálogo Carga dinámica equivalente $P = x \times F_r \times Y \times F_a$	e=0.4198151 x=0.44 y=1.333 P=379.45[N]
	Revoluciones del tornillo	n= 170 rpm
	Factor de velocidad $F_n = (0.03n)^{1/3}$	$F_n = 0.5809$
	Factor de vida de fatiga $F_h = F_h (Cr/P)$	$F_h = 16.9946$
	Índice básico de vida $L_h = 500 \times F_h^3$	$L_h = 2454159.88 [h]$

Conclusión: Los cálculos estáticos de la estructura se realizaron en el perfil crítico y se verifican las características de los materiales que soportan las cargas y esfuerzos a los cuales son sometidos durante el uso de la cortadora de probetas de material bituminoso. Se concluye que son adecuados para implementar en la fabricación del modelo funcional al aportar a la seguridad y estabilidad estructural de los componentes mecánicos.

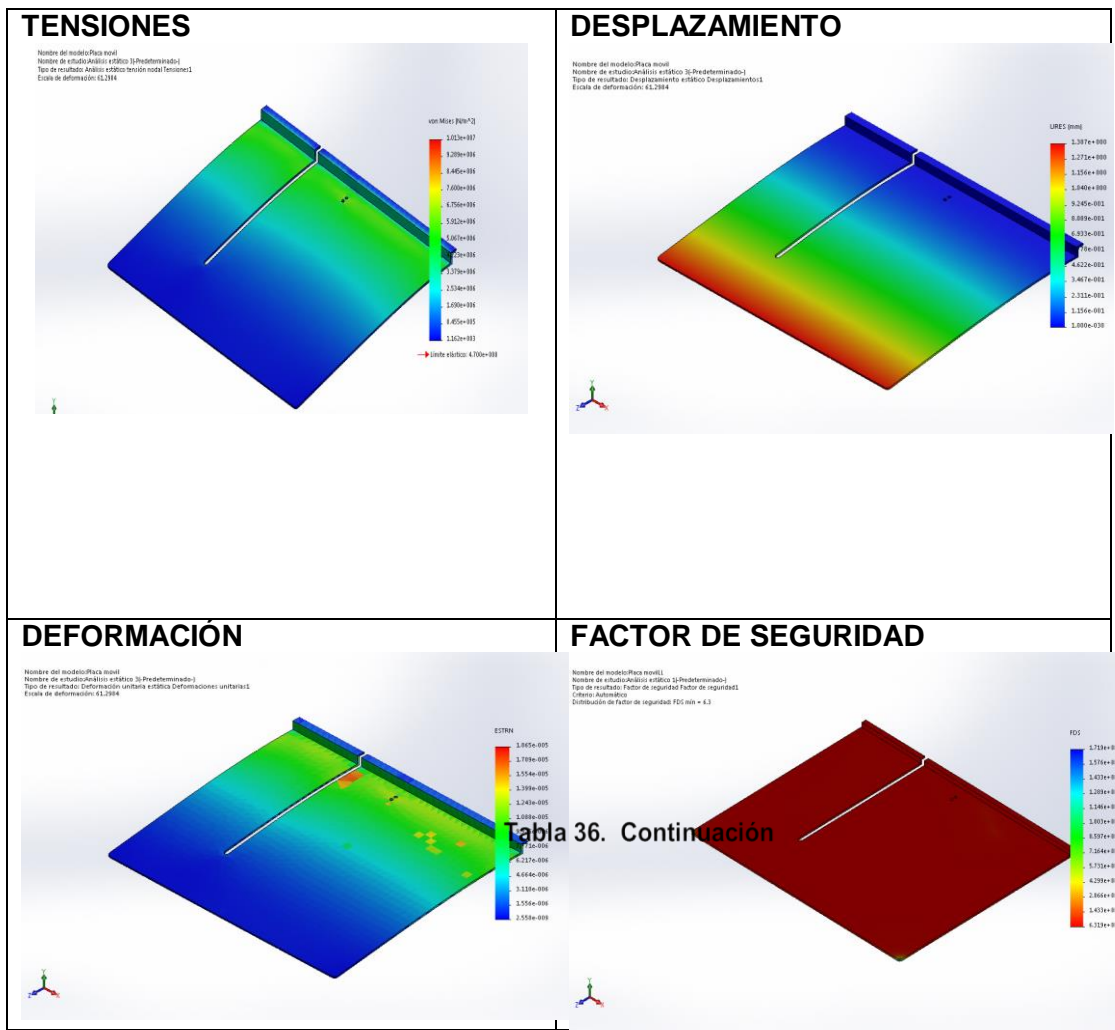
8.3.2 Análisis de elementos finitos de las partes de la cortadora.

Análisis de la placa

Nombre:	AISI 4340 Acero recocido
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Tensión de von Mises máx.
Límite elástico:	4.7e+008 N/m²
Límite de tracción:	7.45e+008 N/m²
Módulo elástico:	2.05e+011 N/m²
Coefficiente de Poisson:	0.285
Densidad:	7850 kg/m³
Módulo cortante:	8e+010 N/m²
Coefficiente de dilatación térmica:	1.23e-005 /Kelvin



Tabla 32: Análisis de Elementos finitos sobre la placa



Conclusión

Se aplica la carga máxima sobre la placa (400 N, aproximadamente) fabricada en acero recocido AISI 4340 de espesor 6mm. Según los resultados de la simulación se observa que la placa puede soportar dicha carga con un factor de seguridad de 6,3. Convendría realizar un estudio de diseño para optimizar las dimensiones de la placa, sin embargo, se decide mantener las dimensiones del modelo de simulación por ser una de las piezas con mayor tráfico y desgaste por fricciones en el desplazamiento de bloques de material bituminoso.

En cuanto a las tensiones que debe soportar la placa, estas adquieren un valor máximo de $5.067e+006 \text{ N/m}^2$; muy distante del límite máximo de tensión de $1.013e+007 \text{ N/m}^2$. Según la simulación, la zona frontal de la placa presenta un desplazamiento máximo de 1.387 mm hacia abajo pero no representa inconveniente en el corte de probetas debido que la zona de mayor esfuerzo es la posterior donde la deformación es apenas de $1.0e-030 \text{ mm}$.

La zona de mayor deformación de la placa tiene un valor aproximado de $1.243e-005$, muy por debajo del valor crítico de $1.865e-005$. Esto indica que el diseño de la pieza es adecuado para el trabajo que realiza este elemento en la cortadora.

Análisis del sistema de sujeción

Las cargas sobre el sistema de sujeción se determinaron haciendo la división de la carga del bloque de material bituminoso que debe sujetar entre los dos elementos.

1 lbf = 4.4484 N

Datos de un elemento del sistema de sujeción

Masa: 2.38884 kg

Volumen: 0.000304311 m^3

Densidad: 7850 kg/m^3

Peso: 23.4106 N

(Carga del bloque material bituminoso)/2 = carga total sobre un elemento del sistema de sujeción.

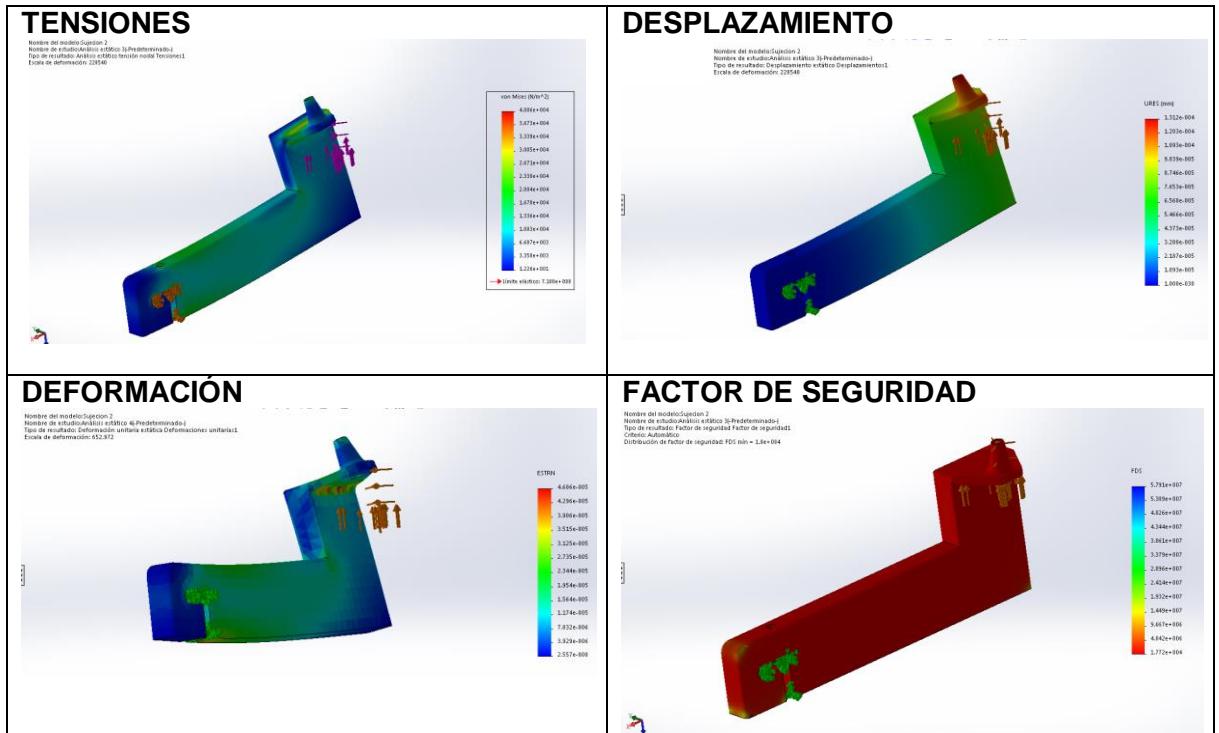
$222.42 \text{ N} / 2 = 111.21 \text{ N}$

Propiedades del material del sistema de sujeción

Nombre:	AISI 4340 Acero normalizado
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Tensión de von Mises máx.
Límite elástico:	$7.1e+008 \text{ N/m}^2$
Límite de tracción:	$1.11e+009 \text{ N/m}^2$
Módulo elástico:	$2.05e+011 \text{ N/m}^2$
Coefficiente de Poisson:	0.32
Densidad:	7850 kg/m^3
Módulo cortante:	$8e+010 \text{ N/m}^2$
Coefficiente de dilatación térmica:	$1.23e-005 / \text{Kelvin}$



Tabla 33: Análisis de Elementos finitos sobre el sistema de sujeción



Conclusión

Se puede observar que al aplicar la carga máxima promedio sobre el elemento principal del sistema de sujeción ($\pm 111.21\text{N}$), la pieza fabricada en acero normalizado AISI 4340 soporta la carga con un factor de seguridad de $1.8e+004$. Este sobredimensionamiento resulta conveniente debido que se reducen los costos de maquinado para la empresa, se garantiza mayor duración por efectos del desgaste, y finalmente, se facilita su comercialización y canje en caso de ser necesario. Por estas razones se decide fabricar la pieza con las dimensiones del modelo analizado.

Según la tabla 36, se puede observar que las tensiones se distribuyen en casi toda la pieza; la zona de mayor esfuerzo (parte superior de la prensa) arroja un valor aproximado de $3.005e+004 \text{ N/m}^2$ pero se mantiene abajo de $4,006e+004 \text{ N/m}^2$ que es su valor crítico. El mayor desplazamiento se presenta en la parte frontal superior de la pieza con un valor de $1.312e-004\text{mm}$, siendo menor a la unidad. La deformación máxima en la pieza ($3.515e-005$) es semejante a las tensiones en cuanto a su zona de distribución con la diferencia que la zona más afectada es la

parte media del brazo de palanca que resulta de la reacción de la fuerza de la prensa; está es su zona crítica pero está por debajo del límite de deformación.

Análisis de tornillo TIPO que sostiene el motor, el eje del disco, las chumaceras y los rodachines de la cortadora

Las cargas sobre el tornillo se determinaron haciendo la sumatoria de la carga máxima que debe soportarse.

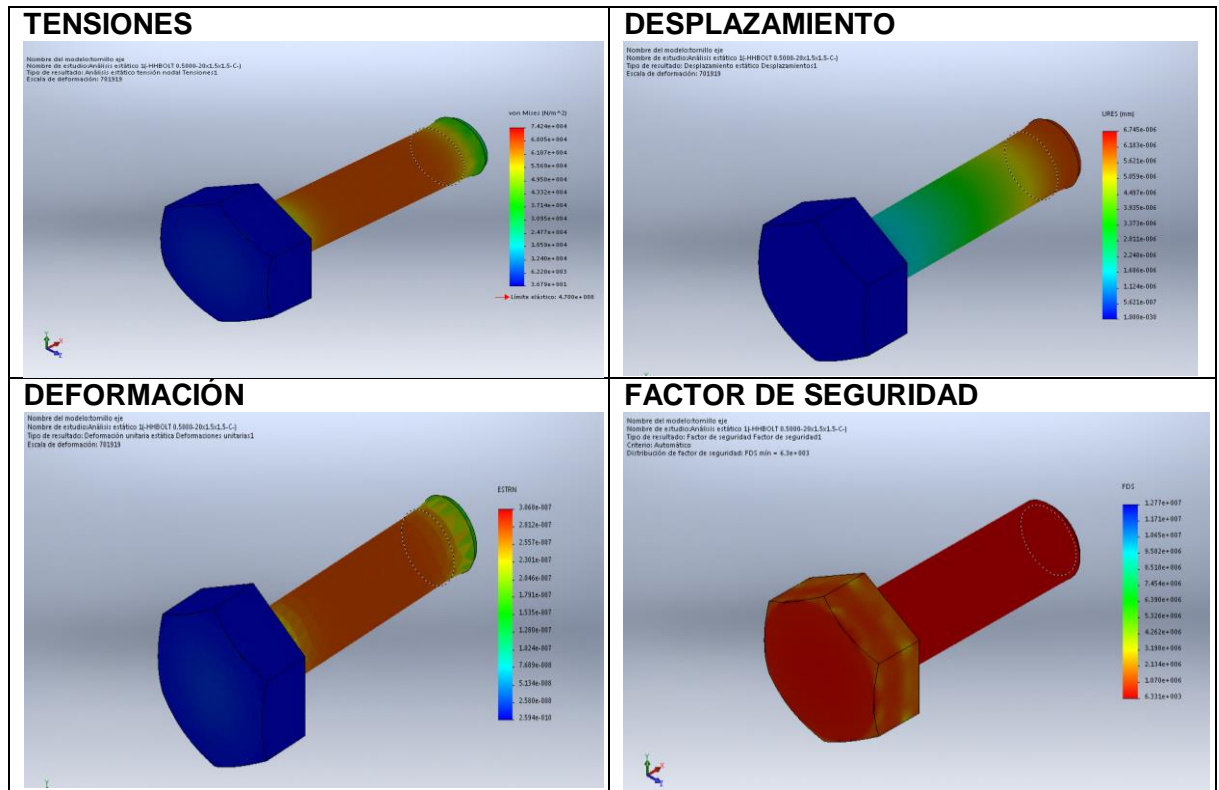
Carga máxima 400N

Propiedades del material del tornillo

Nombre:	AISI 4340 Acero recocido
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Tensión de von Mises máx.
Límite elástico:	4.7e+008 N/m ²
Límite de tracción:	7.45e+008 N/m ²
Módulo elástico:	2.05e+011 N/m ²
Coefficiente de Poisson:	0.285
Densidad:	7850 kg/m ³
Módulo cortante:	8e+010 N/m ²
Coefficiente de dilatación térmica:	1.23e-005 /Kelvin



Tabla 34: Análisis de Elementos finitos sobre el tornillo del sistema de desplazamiento



Conclusión

Se observa que al aplicar la carga máxima promedio sobre el tornillo (400N) fabricado en acero recocido AISI 4340, se obtiene un factor de seguridad de 6,3 que indica que la dimensiones del tornillo son mayores a las máximas permisibles. Se puede optar por un tornillo de menor dimensión pero las medidas de este ya se encuentran estandarizadas en el mercado local, además que permite usar el mismo tipo de tornillo para unificar la sujeción de otros componentes de cuidado dentro de la cortadora (sistema de desplazamiento, sujeción del eje de la sierra y de los motores), haciendo más sencilla su adquisición para efectos de comercialización y mantenimiento.

En cuanto a las tensiones que debe soportar el tornillo, estas adquieren un valor máximo en la zona media de la rosca de $6.187e+004 \text{ N/m}^2$; muy por debajo del límite máximo de tensión de $7.424e+004 \text{ N/m}^2$. Justo en la misma zona se presentan los valores más altos de deformación (hasta $2.557e-007$) del tornillo sin llegar a alcanzar su valor crítico ($3.068e-007 \text{ N/m}^2$). Esto indica que la implementación de este tipo de tornillo dentro de la cortadora también garantiza que no se deforme a causa de las cargas que soporta este elemento.

Según la simulación, el extremo donde se asegura la tuerca presenta el mayor desplazamiento (de $5.621e-006 \text{ mm}$) pero no representa inconveniente por tratarse de un valor menor al límite de $6.745e-006 \text{ mm}$.

Análisis del rodachín

Las cargas sobre el rodachín se determinaron haciendo la división de la carga de la que debe soportarse entre los cuatro rodachines.

Datos de un elemento de un rodachín:

Masa: 0.252859 kg
Volumen: $3.22114e-005 \text{ m}^3$
Densidad: 7850 kg/m^3
Peso: 2.47802 N
Sistema de sujeción $(23.4106 \text{ N}) \times 2 = 46.8212 \text{ N}$
Peso de la placa móvil: 281.012 N
Peso del bloque : 25 Kg
Peso del sistema de sujeción: 20 Kg
 $1 \text{ lbf} = 4.4484 \text{ N}$

Bloque de material bituminoso + sistema de sujeción + placa móvil /4 = carga total sobre un rodachín

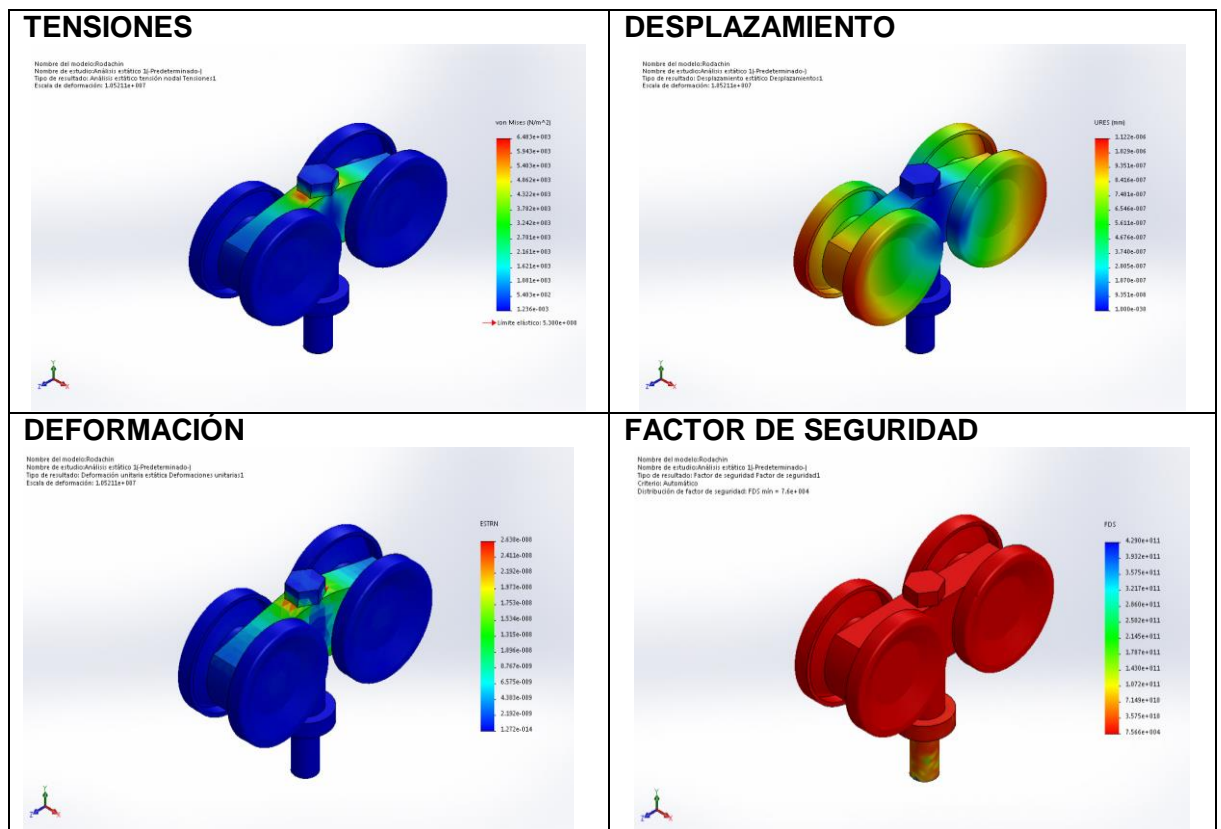
$$(222.42 \text{ N} + 46.8212 \text{ N} + 281.012 \text{ N}) / 4 = 214.826 \text{ N}$$



Propiedades del material del rodachín

Nombre:	AISI 1045 Acero estirado en frío
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Tensión de von Mises máx.
Límite elástico:	5.3e+008 N/m²
Límite de tracción:	6.25e+008 N/m²
Módulo elástico:	2.05e+011 N/m²
Coefficiente de Poisson:	0.29
Densidad:	7850 kg/m³
Módulo cortante:	8e+010 N/m²
Coefficiente de dilatación térmica:	1.15e-005 /Kelvin

Tabla 35: Análisis de Elementos finitos sobre el rodachín del sistema de desplazamiento



Conclusión

Se aplica la carga máxima promedio sobre el rodachín fuerte ROG-800 (214.826N, aproximadamente) fabricado en acero estirado en frío AISI 1045. La fuerza total es distribuida hacia las cuatro ruedas y según los resultados de la simulación se observa que el rodamiento puede soportar dichas fuerzas con un factor de seguridad de $7.6e+004$. Convendría realizar un estudio de diseño para optimizar las dimensiones del rodachín, sin embargo, los rodamientos ROG-800 de $\frac{1}{2}$ pulg. se encuentran fácilmente en el mercado local y sus dimensiones facilitan la acomodación de otros componentes que hacen parte fundamental de la cortadora. De usar un rodachín fuerte de menores dimensiones, se disminuye la distancia entre la mesa de trabajo y el resto de la estructura que la soporta y resultaría imposible ubicar los rodamientos del tornillo de avance del sistema de desplazamiento. Se decide mantener las dimensiones del modelo de simulación por las anteriores razones y por ser otra de las piezas con tráfico y desgaste continuo para extender la vida útil del sistema de desplazamiento de bloques de material bituminoso en la cortadora y garantizar la funcionalidad y seguridad industrial.

En cuanto a las tensiones que debe soportar el rodamiento (más específicamente en el elemento que soporta los cuatro ruedas), se observa un valor máximo de $5.403e+003\text{N/m}^2$; muy distante del límite máximo de tensión de $6.483e+003\text{ N/m}^2$. Según la simulación, los mayores desplazamientos se producen en las ruedas, en las zonas más alejadas respecto al eje del tornillo del rodamiento con valores aproximados a $9.351e-007\text{mm}$, valores muy pequeños teniendo en cuenta la complejidad del sistema.

La zona de mayor deformación del rodamiento es la misma donde se presentan los mayores esfuerzos (base de las ruedas) y tiene un valor aproximado de $2.192e-008$, muy por debajo del valor crítico de $2.630e-008$. Esto indica que la elección de la pieza es adecuada para el trabajo que realiza este elemento en la cortadora.



8.4 PREPARAR LA LISTA DE PARTES Y LOS PLANOS DE PRODUCCIÓN

Se prepara la lista de partes y los planos de producción formales de las piezas necesarias para ensamblar la cortadora, de acuerdo a los requerimientos, la tecnología, los materiales y los procesos de producción disponibles en el mercado e industria local donde se fabricarán o comercializarán las partes del prototipo a ensamblar.

8.4.1 Lista de piezas de la maquina

Tabla 36: Lista de las principales partes de la cortadora

DESCRIPCIÓN	PIEZA
Estructura	Tubo estructural Cuadrado, perfiles, láminas
	Platina HR 600 x 900 mm (mesa de trabajo)
	Lamina calibre 20 galvanizada (tapas)
	Tornillos, remaches, juntas, etc
Sistema de corte	Motor trifásico de 5 HP a 1800 RPM
	Disco diamantado 18 "
	Eje para sierra # 3
	Poleas
	Correas V
	Goznes base motor (para tensión de la correa)
Sistema de desplazamiento	Rieles
	Motor reductor trifásico de ½ HP a 1800 RPM
	Rodachín fuerte
	Tornillos de paso largo
	Chumaceras tornillo sinfin de desplazamiento
Sistema de control	Pulsadores, Caja de pulsadores y parada de emergencia
	Caja de contactores
	Inversor de giro
	Fines de carrera
	Caja de alta tensión, cableado
Sistema de sujeción	Platina rectificadora
	Tornillos y perfiles
Protección	Guarda acrílica de seguridad para el disco
	Platinas, tornillos de la base de la guarda

8.4.2 Cotización de materiales y procesos de producción.

Procesos de producción y costo de producción

En la tabla 40 se especifican los costos de materiales y de producción de los componentes de la cortadora de probetas de material bituminoso. No se deducen costos de diseño y ni de ensamblaje debido que se realizó como parte del proceso académico:



Tabla 37: Lista de procesos y costos de producción

CANT.	PIEZA	PROCESO	COSTO DEL MATERIAL	COSTO DE PRODUCCIÓN	TOTAL
2	Estructura	Soldadura	\$ 93.104,00	\$ 400.000,00	\$ 493.104,00
2	Platina rectificadora	Fresado y roscado	\$ 55.000,00	\$ 350.000,00	\$ 405.000,00
1	Placa HR 6mm	Corte plasma	\$ 95.000,00	\$ 150.000,00	\$ 245.000,00
1	Tornillo	Torneado	\$ 80.000,00	\$ 140.000,00	\$ 220.000,00
2	Rieles	Doblado	\$ 15.000,00	\$ 30.000,00	\$ 45.000,00
5	Laminas calibre 20	Tronzado	\$ 45.000,00	\$ 10.500,00	\$ 55.500,00
1	Cortadora	Pintura	\$ 60.000,00	\$ 120.000,00	\$ 180.000,00
1	Señalética	Impresión	\$ 15.000,00	\$ 25.000,00	\$ 40.000,00
1	Guarda de seguridad	Pistola de calor	\$ 25.000,00	\$ 75.000,00	\$ 100.000,00
1	Motor trifásico de 5 HP a 1800 RPM	Compra	\$ 707.723,00		\$ 707.723,00
1	Motor reductor trifásico de ½ HP a 1800 RPM	Compra	\$ 701.793,00		\$ 701.793,00
1	Eje para sierra # 3	Compra	\$ 214.000,00		\$ 214.000,00
2	Poleas Correas V	Compra	\$ 65.834,00		\$ 65.834,00
2	Rodachín fuerte	Compra	\$ 30.600,00		\$ 30.600,00
2	Chumaceras	Compra	\$ 68.000,00		\$ 68.000,00
1	Caja de contactores y control con inversor de giro	Compra	\$ 720.000,00		\$ 720.000,00
2	Fines de carrera	Compra	\$ 32.000,00		\$ 32.000,00
2	Goznes	Compra	\$ 13.000,00		\$ 13.000,00
12	Tornillos	Compra	\$ 15.000,00		\$ 15.000,00
			TOTAL MATERIALES	TOTAL PRODUCCIÓN	GRAN TOTAL
			\$ 3.051.054,00	\$ 1.300.500,00	\$ 4.351.554,00

8.5 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE

En la tabla 41 se observa a grandes rasgos los principales pasos de construcción y/o ensamble de la cortadora de material bituminoso. El proceso se realizó dentro de las instalaciones de los talleres de Diseño Industrial y se contó con la asesoría del señor almacenista de planta:



Tabla 38: Proceso de construcción y ensamble de la cortadora

		Documentación gráfica del proceso de construcción y ensamble de la cortadora de probetas de material bituminoso en Corasfaltos FASE III: ETAPA DE CONSTRUCCIÓN			
	Revisión de las dimensiones de la estructura.		Montaje de perfiles y rodamientos del sistema de desplazamiento en la estructura		Maquinado plasma de la mesa de trabajo para la ranura del disco.
	Montaje de los rieles del sistema de desplazamiento sobre la placa de la cortadora.		Revisión y ajustes de tolerancias del sistema de desplazamiento.		Montaje de perfiles base y eje del disco de corte sobre la estructura.
	Revisión del motor que acciona el disco de corte según requerimientos		Montaje del motor principal de la cortadora sobre la base articulada de la estructura.		Revisión del moto reductor y acople del sistema de desplazamiento según requerimientos.
	Montaje de las chumaceras del tornillo sinfin del moto reductor del sistema de desplazamiento		Montaje del motoreductor, tornillo sinfin y acoples del sistema de desplazamiento.		Revisión de los componentes electricos según especificaciones.
	Montaje de contactores y del sistema de protección eléctrica de los motores.		Montaje del disco de corte y correas del motor principal de la cortadora		Conexión/Montaje de los controles del motor principal, motoreductor y parada de emergencia



9. FASE IV: ETAPA DE COMPROBACIÓN

COMPROBAR EL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO FUNCIONAL, SU EFICACIA EN EL CORTE DE PROBETAS DE MATERIAL BITUMINOSO Y EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS ERGONÓMICOS Y DE SEGURIDAD.

En esta última etapa se realiza las comprobaciones técnicas y ergonómicas del modelo funcional ensamblado en la anterior etapa. Se basa en la aplicación del Método REBA y otros mecanismos de comprobación del funcionamiento y operatividad de la cortadora de material bituminoso para Corasfaltos. En ella participa personal de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander y personal de la corporación.

9.1 COMPROBACIÓN TÉCNICA

9.1.1 Comprobación de los componentes de la cortadora

Objetivo de la comprobación

Comprobar el funcionamiento de los componentes principales de la cortadora de material bituminoso. Incluye la comprobación del funcionamiento del motor del disco de corte, el motor reductor del sistema de desplazamiento, el mando de control de funciones, los finales de carrera y la protección del sistema eléctrico.

Lugar de la prueba

El sitio de pruebas de la comprobación técnica está ubicado dentro de las instalaciones de la universidad, en los laboratorios del Edificio de Eléctrica Antigua donde se cuenta con el voltaje requerido para el funcionamiento de los motores.

Recursos

Para la realización de la prueba se cuenta con:

Modelo funcional de la cortadora de material bituminoso.



Fuente de alimentación de 220V CD

Multímetro, facilitado por el auxiliar del laboratorio.

Cables de conexión.

Cámara digital.

Proceso de la comprobación

Para la comprobación se cuenta con personal calificado en el tema de control de motores y contactores, como el Ing. David Murcia de la Escuela de eléctrica y el auxiliar del laboratorio de control de motores de la misma escuela.

Inicialmente se verifican las conexiones y protecciones de los contactores del sistema de control para luego someter los componentes eléctricos a las comprobaciones de funcionamiento. Para la prueba, se energiza el sistema y se verifica el funcionamiento del motor principal que acciona el eje del disco de corte sin poleas ni disco, el motor reductor que acciona el sistema de desplazamiento, los finales de carrera del sistema de desplazamiento y el mando de control del modelo funcional.

Se toma un registro fotográfico y de video de las comprobaciones y se toma nota de las observaciones emergentes de la prueba. La tabla 42 muestra el registro fotográfico del proceso de verificación.



Tabla 39: Proceso de comprobación eléctrica de la cortadora

 	
Documentación gráfica de la comprobación eléctrica de la cortadora de probetas de material bituminoso <i>FASE IV: ETAPA DE COMPROBACIÓN</i>	
	
<p>Revisión de las conexiones del sistema eléctrico y de protección de los contactores.</p>	<p>Verificación de la tensión y la carga eléctrica requerida para el funcionamiento de los motores y de la cortadora en general.</p>
	
<p>Comprobación del funcionamiento del motor sin disco de corte y del sistema de desplazamiento sin tablero de control.</p>	<p>Comprobación del funcionamiento del motor con disco de corte y del sistema de desplazamiento con tablero de control.</p>

Lugar de la prueba

El sitio de pruebas de la comprobación técnica está ubicado dentro de las instalaciones de la universidad, en los laboratorios del Edificio Álvaro Beltrán Pinzón donde también se cuenta con el voltaje requerido para el funcionamiento de los motores, y en donde las condiciones de aislamiento facilitan la prevención de posibles accidentes durante la comprobación.

Recursos

Para la realización de la prueba se cuenta con:

Modelo funcional de la cortadora de material bituminoso.

Fuente de alimentación bifásica trifilar de 220V CD

Bloques del material compactado (3), facilitados por Corasfaltos.

Prensas tipo C (2) para sujetar los bloques.

Cámara digital (1).

Proceso de la comprobación

Para la comprobación se cuenta con personal calificado en el tema de control de motores y contactores, como el auxiliar del laboratorio de control de motores de la Escuela de eléctrica.

Inicialmente se verifican las conexiones y protecciones de la cortadora que pudieron verse afectadas por el transporte del modelo a las instalaciones de la prueba. Para la prueba, se sujeta el bloque a la mesa de trabajo por medio de las prensas tipo C para evitar el desajuste y el daño de la probeta durante el corte, se energiza el sistema y se procede a realizar el corte.

Se toma registro fotográfico y de video del proceso de corte y se toma nota de las observaciones emergentes de la prueba. La tabla 43 muestra el registro fotográfico del proceso de comprobación.



Tabla 40: Comprobación técnica del proceso de corte de probetas

		Documentación gráfica de la comprobación técnica del proceso de corte de probetas de material bituminoso para Corasfaltos FASE IV. ETAPA DE COMPROBACIÓN			
					
<p>Revisión de las conexiones, componenetes y ajustes del modelo funcional.</p>	<p>Prensado del bloque de material bituminoso</p>	<p>Energizado del modelo funcional</p>	<p>Ignición del motor del disco de corte con tablero de control</p>	<p>Inicio del desplazamiento de la mesa de trabajo con tablero de control.</p>	<p>Corte de probetas</p>
					
<p>Finalización del desplazamiento de la mesa de trabajo a su posición inicial por medio del tablero de control.</p>	<p>Liberación de la probeta cortada</p>	<p>Revisión del acabado del corte y dimensiones de las probetas resultantes.</p>			

9.2 COMPROBACIÓN ERGONÓMICA

9.2.1. Objetivo de la comprobación

Verificar que el funcionamiento de la cortadora de material bituminoso responde a una buena interpretación del mando de control y demás componentes que intervienen en el proceso de muestreo (tapas, agarraderas, llaves, tornillos, prensas, guardas de protección, etc.). Incluye la observación de las acciones operativas de posicionamiento, alineación y prensado de bloques, uso de los mandos para activar el disco de corte y desplazar la mesa de trabajo, refrigeración del corte, drenaje y disposición de residuos, mantenimiento y limpieza.

9.2.2 Lugar de la prueba

Se ha adecuado un espacio en los laboratorios dentro de las instalaciones de la corporación para la ubicación de la cortadora, donde se realiza la comprobación. El sitio de trabajo se ubica a 10m de la máquina compactadora y ha sido acondicionado para suministrar el voltaje requerido para el correcto uso de la máquina.

9.2.3 Sujetos de prueba

Para la comprobación se cuenta con el personal encargado del corte de probetas de Corasfaltos: Kendrys Jaramillo (32 años) y Joel Rodríguez (33 años). Los operarios (figura 22) ya tienen experiencia en el corte de probetas para los ensayos de los laboratorios de la corporación y para la prueba deben seguir los protocolos de seguridad como el uso de EPP



Figura 174: Personal encargado del corte de probetas: Izquierda, Kendrys Jaramillo. Derecha, Joel Rodríguez



9.2.4 Recursos

Para la realización de la prueba se cuenta con:

- ✓ Modelo funcional de la cortadora de material bituminoso.
- ✓ Bloques de material bituminoso de 45x45x7cm aproximadamente.
- ✓ Calibrador digital.
- ✓ Cámara digital.

9.2.5 Proceso de la comprobación

Inicialmente se verifica que la señalética usada en el mando de control permite una adecuada comunicación de las funciones de la cortadora hacia el operario para luego proceder al uso de la misma. Se centra toda la atención en el operario, las



acciones que realiza y las posiciones durante el uso de la cortadora con el fin de verificar que las posturas adoptadas para tales acciones son las adecuadas y que no generan afectaciones en el operario.

Se toma registro fotográfico y de video del proceso y se toma nota de las observaciones emergentes de la prueba. La tabla 44 muestra el registro fotográfico del uso de la cortadora.

Tabla 41: Documentación gráfica del uso de la cortadora

 		Documentación gráfica del uso de la cortadora de probetas de material bituminoso en Corasfaltos <small>FASE IV: ETAPA DE COMPROBACIÓN</small>		 	
			Protección con EPP	Posicionamiento de la prensa de alineación de acuerdo a la probeta guía (material acrílico) .	Transporte y ubicación del bloque de material bituminoso hasta la mesa de trabajo.
			Comprobaciones hechas por el operario respecto al bloque de material bituminoso.	Posicionamiento del bloque dentro de las prensas de alineación.	Prensado de bloques de material bituminoso

Tabla 45. Continuación

		
Ubicación de la guarda abatible del disco en la posición de protección.	Iniciar el dispositivo de refrigeración de corte de probetas de material bituminoso.	Inicio del giro del disco de corte accionado mediante el mando de control.
		
Avance de la mesa de trabajo mediante mando de control	Inspección del proceso de corte por parte del operario de la cortadora	Retroceso de la mesa de trabajo y apagado de los sistemas.
		
Liberación de las probetas de material bituminoso	Verificación de calidad. Comprobación de acabados y superficies de la muestra.	Verificación de calidad. Comprobación de la uniformidad dimensional de la muestra.
		
Limpieza de residuos sobre la mesa de trabajo para los cortes siguientes o para finalizar el proceso.	Extracción de residuos sólidos de la cortadora.	Vertimiento de residuos sólidos en los contenedores de la corporación

9.2.6 Análisis postural

La evaluación postural del uso de la cortadora de material bituminoso en Corasfaltos se realiza a partir del momento en que el operario debe transportar el bloque de 25kg desde el compactador a la cortadora (figura 23a), descargar el bloque de material bituminoso de la cintura al plano de trabajo (figura 23b) y realizar las operaciones de corte adoptando generalmente una posición erguida, frente al

equipo (figura 23c). Mientras se realizan ciertas tareas como la sujeción/liberación de probetas, el trabajador debe inclinar un poco el tronco hacia adelante pero son intervalos de tiempo muy cortos que no generan mayor afectación en la salud e integridad del operario.

Figura 185: Postura del operario durante el uso de la cortadora. (a) Transporte de bloques, (b) Descargue de bloques, (c) Corte del material



La hoja de campo (figura 24) muestra más detalladamente el análisis de la postura del operario durante el uso de la cortadora.

Figura 196. Hoja de campo de aplicación REBA, del uso de la cortadora de probetas de material bituminoso en Corasfaltos

Grupo A: Análisis de cuello, piernas y tronco

CUELLO

Movimiento	Punt	Correc.
flexión < 20°	1	Añadir + 1 si hay torsión o inclinación lateral
>20° flexión o extensión	2	

PIERNAS

Movimiento	Punt.	Correc.
Soporte bilateral, andando o sentado	1	Añadir + 1 si hay flexión de rodillas entre 30° y 60°
Soporte unilateral, soporte ligero o postura inestable	2	Añadir + 2 si las rodillas están flexionadas + de 60° (salvo postura sedente)

TRONCO

Movimiento	Punt	Correc.
Erguido	1	
flexión < 20° extensión < 20°	2	Añadir + 1 si hay torsión o inclinación lateral
20°-60° flexión extensión > 20°	3	
flexión > 60°	4	

CARGA / FUERZA

0	1	2	+ 1
< 5 Kg.	5 a 10	> 10 Kg.	Fuerza brusca

Resultado TABLA A
2 + 0 = 2

Grupo B: Análisis de brazos, antebrazos y muñecas

ANTEBRAZOS

Movimiento	Puntuación	Corrección
60°-100° flexión	1	
flexión < 60° / flexión > 100°	2	

MUÑECAS

Movimiento	Punt	Corrección
0°-15° flexión/ extensión	1	Añadir + 1 si hay torsión o desviación lateral
>15° flexión/ extensión	2	

BRAZOS

Posición	Puntuación	Corrección
<20° flexión/ extensión	1	Añadir: + 1 si hay abducción o rotación.
20°-45° flexión / >20° extensión	2	+ 1 si hay elevación del hombro.
45°-90° flexión	3	-1 si hay apoyo o postura a favor de la gravedad.
>90° flexión	4	

AGARRE

0	1	2	3
Bueno	Regular	Malo	Inaceptable

Resultado TABLA B
2 + 0 = 2





PUNTAJUE FINAL
2

PUNTAJUE FINAL	1	2 o 3	4 a 7	8 a 10	11 a 15
NIVEL DE RIESGO	INAPRECIABLE	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
NIVEL DE ACCIÓN	No necesaria	Puede ser necesaria	Necesaria	Necesaria pronto	Necesaria inmediata

La valoración dada por el método REBA para las actividades músculo-esqueléticas ligadas al uso de la cortadora (después de analizar el cuerpo en dos grupos tronco-cuello-piernas y brazo-antebrazo-muñeca), arroja como resultado una valor final de 2 puntos, lo que representa, dentro de la escala de acción brindada por el método, que se trata de un nivel de *RIESGO BAJO* y que puede ser necesario tomar medidas correctivas.

9.2.7 Encuesta






Además del registro grafico del uso de la cortadora y de toda la información que de allí puede extraerse, se realiza una encuesta (tabla 45) al personal encargado del corte de probetas con el fin de conocer la percepción que tienen acerca de características específicas de la cortadora, sistema de control y señalética, mecanismo de corte y otra información relevante.

 		Encuesta al personal encargado del proceso de corte de probetas de material bituminoso en Corasfaltos <small>FASE IV: ETAPA DE COMPROBACIÓN</small>			 	
ACERCA DE LA CORTADORA					Módulo 1	
No.	PREGUNTA	SI	NO	NS/NR		
1	¿La cortadora está provista de guardas o elementos que protejan al operario de lesiones como cortadas o golpes?					
2	¿La posición con que debe operarse la cortadora es cómoda?					
3	¿La altura de la mesa de trabajo de la cortadora es adecuada para el tipo de tarea?					
4	¿El diseño de la cortadora facilita la visibilidad del operario durante el corte de probetas?					
5	¿La disposición y materiales de los componentes de la cortadora son los adecuados para garantizar un proceso de corte seguro y de calidad?					
6	¿La cortadora cuenta con un sistema de sujeción de probetas?					
7	¿El uso de los componentes de la cortadora no requiere sobre esfuerzos del operario?					
8	¿La estructura de la cortadora es estable?					
9	¿La distribución de los componentes, sistemas y subsistemas de la cortadora facilitan su uso y mantenimiento?					
ACERCA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL Y SEÑALIZACIÓN DE LA CORTADORA					Módulo 2	
No.	PREGUNTA	SI	NO	NS/NR		
10	¿La cortadora es fácil de encender?					
11	¿La cortadora es fácil de operar?					
12	¿Los controles de la cortadora están ubicados en lugares asequibles?					
13	¿La cortadora cuenta con un control o mecanismo de parada?					
14	¿La cortadora cuenta con un control o mecanismo de parada de emergencia?					
15	¿Los indicadores y señalización de los mecanismos de control y alerta manejan un lenguaje claro y de fácil de comprensión?					
16	¿Los mandos de la cortadora requieren sobre esfuerzos por parte del operario?					
ACERCA DEL PROCESO DE CORTE					Módulo 3	
No.	PREGUNTA	SI	NO	NS/NR		
17	¿El ruido causado por la cortadora dificulta o impide la comunicación entre el personal de la empresa?					
18	¿Las vibraciones que genera la cortadora durante el proceso de corte causan molestias en el operario?					
19	¿Las emisiones de desecho causan molestias en la zona de trabajo o en la empresa en general?					
20	¿La temperatura del área de trabajo es apropiada cuando se usa la cortadora?					
21	¿El proceso de corte garantiza la uniformidad dimensional de las probetas?					
22	¿La cortadora permite avanzar o retroceder el corte a medida que se realiza la tarea sin que la pieza sea dañada?					
23	¿Los esfuerzos realizados por el operario del corte de probetas son mínimos o despreciables?					
OTROS ASPECTOS IMPORTANTES					Módulo 4	
No.	PREGUNTA	SI	NO	NS/NR		
24	¿Se realizan las correspondientes inspecciones de limpieza y mantenimiento en la cortadora?					
25	¿El operario ha sido capacitado para el uso correcto de la cortadora?					
26	¿La cortadora cuenta con un diagrama de uso o un manual de operaciones?					
27	¿El operario usa los Elementos de Protección Personal EPP?					









10. CONCLUSIONES

Se complementa con una evaluación a los operarios acerca de la percepción del modelo funcional de la cortadora de probetas de material bituminoso y se comprueba el funcionamiento de todos los componentes que hacen parte del proceso de corte: motores, finales de carrera, mecanismos de protección eléctrica, mecánica, sistemas de control, alineación, sujeción, desplazamiento, refrigeración y drenaje, posturas del operario en la cortadora, visibilidad del proceso de corte, facilidad de manejo y mantenimiento, seguridad industrial además de comprobarse que la calidad de las probetas resultantes, requerida por los laboratorios de la corporación. Se reconocen mejoras en cuanto a:

-  Protección del operario: por medio de guardas como la del disco de corte, y bordes suavizados en el sistema de sujeción para evitar cortes o lesiones
-  Posturas: de acuerdo al análisis postural del método REBA realizado durante el uso de la cortadora, se evidencia un cambio significativo en la puntuación y se pasa de un nivel de RIESGO MUY ALTO donde debían tomarse MEDIDAS CORRECTIVAS INMEDIATAS a un NIVEL DE RIESGO BAJO donde PUEDE SER NECESARIO tomar algunas otras medidas correctivas para mejorar las condiciones de trabajo alrededor del uso de la cortadora.
-  Altura del plano de trabajo: al elevar la altura de la mesa de trabajo se minimiza ampliamente las afectaciones que puede causar este tipo de posturas en el operario.
-  Visualización/inspección del proceso de corte: la cortadora permite mayor control visual de la operación de corte de probetas por parte del operario que realiza la tarea de muestreo y esto mejora los resultados en cuanto a la calidad del corte y por ende, de las muestras, debido a que el operario puede enfocar su atención directamente en la probeta para reaccionar más rápidamente ante posibles incidentes.
-  Sujeción de probetas: el operario de la cortadora ya no debe sujetar el bloque con sus manos pues la cortadora posee un sistema de sujeción para tal









efecto; de esta manera puede reducirse en el operario las afectaciones causadas por los sobre esfuerzos al tratar de mantener fija la probeta durante el corte.

-  Estabilidad de la estructura
-  Encendido/Operación de la cortadora: gracias a la inclusión del motor eléctrico dentro del diseño de la cortadora, se pudo cambiar el modo de encendido de TIRADERA DE ARRANQUE a uno controlado con PULSADOR. De esta misma manera se pudo sistematizar el control de otras funciones como la parada del disco, el desplazamiento de la probeta por medio de una mesa de trabajo accionada por pulsadores, suspensión del avance de la mesa de trabajo y parada de emergencia
-  Alcance de los mandos de control de la cortadora: el operario tiene la facilidad de operar la máquina desde un punto fijo al costado de la cortadora o desde cualquier otro punto. La implementación de un mando escualizable permite al operario mantenerlo en su mano mientras la cortadora se encuentre en funcionamiento. De igual manera la distancia entre la cortadora y el operario evita que el desprendimiento de las partículas causadas por el corte afecte la salud del trabajador.
-  Reducción de emisiones de ruido: el cambio de motor de combustión al eléctrico permite enormemente la disminución de los niveles de ruido de la cortadora.
-  Reducción de emisiones volátiles: la implementación de un dispositivo de refrigeración sobre la zona de corte ha permitido reducir las emisiones causadas por el calentamiento y el corte de la muestra. De igual manera, el motor eléctrico descarta la emisión de partículas volátiles causadas por efecto de la combustión del motor a gasolina.
-  Reducción de vibraciones: la inclusión del mando escualizable permite mantener una proximidad limitada pero suficiente para realizar las inspecciones necesarias; el operario no tiene contacto con máquina ni con la probeta durante el corte de muestras y esto neutraliza la transmisión de las vibraciones de la cortadora al operario. Aun cuando el trabajador mantuviese contacto, éste ha manifestado que la cortadora no presenta los mismos niveles de vibración y que se redujeron considerablemente respecto a la



máquina hechiza con la que desempeñaban la tarea antes del desarrollo del proyecto.

-  Ambiente de trabajo: al reducirse los niveles de emisiones y vibraciones causados por el corte de muestras de material bituminoso, se facilita la creación de un ambiente menos adverso para el operario de la cortadora y, en general, para el personal próximo a los laboratorios.
-  Acabado y dimensionamiento de probetas: el sistema de desplazamiento automático guiado por rieles y controlado por un reductor de velocidad (a una velocidad constante de 170rpm), permite que el corte de probetas sea más exacto y de mayor calidad pues se garantiza que la muestra no será dañada al ser sometida a movimientos bruscos. El proceso de corte de probetas realizado con el modelo funcional da como resultado probetas con un acabado de calidad y que cumplen con los estándares dimensionales requeridos por la empresa para el posterior análisis en los laboratorios de Corasfaltos.
-  Comunicación visual: se establece un lenguaje claro y de fácil comprensión entre la cortadora y el operario. La señalética de la cortadora facilita la comprensión del mando de control de funciones y otros elementos con los que el operario debe intervenir como son los sistemas de drenaje y mantenimiento.
-  Facilidad de mantenimiento: gracias a la señalética de la cortadora, se permite identificar rápidamente las zonas desde donde se puede realizar el mantenimiento además que este puede hacerse de manera sencilla, debido a la distribución y ubicación de las partes móviles de la cortadora.
-  La distancia entre los laboratorios en que se compactan los bloques de material bituminoso y la cortadora se redujo a la mitad gracias a la proximidad que se tiene hasta la nueva ubicación de la cortadora.
-  Seguridad industrial: en general, por los anteriores indicadores, los riesgos de accidentalidad ligados a la cortadora o a su uso disminuyen considerablemente. Las medidas de prevención de accidentes laborales del operario y la baja exposición a riesgo de accidentalidad o de lesiones, mejoran las condiciones de trabajo y garantizan la integridad física del operario.



11. RECOMENDACIONES

En una visita realizada posteriormente a la realización de las pruebas, se pudo identificar inconvenientes en la sujeción de los bloques de material bituminoso. Los operarios afirman que, debido al uso continuo y repetitivo de la cortadora, los brazos del sistema de sujeción que encajonan el bloque para ser prensados (especialmente el izquierdo) se han desajustado. Esto podría responder a fallas en el maquinado de la ranura de las guías que han sufrido desgaste y no mantienen fijo el ángulo recto de la prensa, es decir, se produce un pequeño desfase angular en el brazo de la prensa que alinea el bloque para el corte y produce un desviamiento en el extremo del brazo. Aunque la falla se presenta, no ha sido impedimento para continuar con el proceso de corte sin embargo no se debe desatender la situación.

Afirman también los operarios de la cortadora que debe invertirse más tiempo que antes en el corte de probetas. Esto responde obviamente a que antes del diseño del prototipo no se contaba con sistema de sujeción y la velocidad de desplazamiento de los bloques era controlada con las manos, afectando muchas veces la calidad de corte de las probetas

Además de proponer un reajuste del maquinado de dichas piezas, se recomienda cambiar el mecanismo de sujeción de los bloques de tornillo a palanca de presión, precisamente para reducir los tiempos de prensado de los bloques. A pesar de la solución económica propuesta, la empresa está considerando automatizar el sistema de sujeción de probetas y está definiendo los recursos económicos para realizar la mejora. De esta manera se estaría cambiando el sistema de sujeción de manual a semi-automatizado, reduciendo a su vez el contacto del operario con el material de estudio y los tiempos de ejecución de la tarea de corte.



BIBLIOGRAFÍA

ALBIANO, Nelson F Toxicología Laboral: Criterios para el monitoreo de la salud d los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas. Buenos Aires: Superintendencia de riesgos del Trabajo, 2013. 399p.

CÁRDENAS S., Mauricio; ESCOBAR A. Andrés y GUTIÉRREZ S. Catalina. infraestructura, Crecimiento y productividad en Colombia: 1950-1994” (Informe final presentado por FEDESARROLLO a FONADE. Santafé de Bogotá: Fundación para la Educación superior y el Desarrollo, FEDESARROLLO, Mayo 2015

CINDEMANN., K. C. Tratado de Rehabilitación: Patología y técnicas de intervención: Las instalaciones, Tomo V. Madrid: Editorial Munillalera, 1999. 360p

COLOMBIA. MISTERIO DE TRABAJO. Cartilla de riesgos laborales. Bogotá: Mintrabajo, 2014.

CROSS, Nigel. Metodos de diseño. Estrategia para el diseño de productos. México: Limusa, 1999. 190p.

GRUSE, Wiliam A y STEVENS, Donald R . Tecnología Química del Petróleo. Barcelona: Omega, 1964. 704.p

HIGNETT, Sue and MCATAMNEY, Lynn. Rapid Entire Body Assessment. (REBA) Applied Ergonomics. Applied Ergonomics. Australia [en línea] 2000. N° 31, 201-205. [consultado : 4 Abril 2016] Disponible en ELSEVIER, vía Universidad Industrial de Santander: http://ac.els-cdn.com/S0003687099000393/1-s2.0-S0003687099000393-main.pdf?_tid=7f088990-707e-11e6-a2eb-00000aacb360&acdnat=1472760108_0211f7943f9f6913a12ba220096ec334



INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION. Definition and domains ergonomics. [en línea] Zurich, Switzerland: IEA 2000 [Recuperado el 07 de 08 de 2015] Disponible en: <http://www.iea.cc/about/index.html>

MIRALLES MARRERO, Rodrigo C. Biomecánica Clínica del Aparato Locomotor. 2ed. Barcelona : Editorial Masson, 2000.

MOJICA HERNANDEZ, MARTHA Lucía. Salud Ocupacional: Notas de Clase Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2007.

NORDIN, Margareta y FRANKEL, Víctor H. Biomecánica Básica del Sistema Músculo-esquelético. 3ed. Madrid: McGraw Hill – Interamericana, 2004. 485p.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO - OIT. Seguridad y salud en el trabajo [Sitio Web] Ginebra: Suiza: OIT, 1996-2016 [Consultado 23 de Junio de 2016] Disponible en: <http://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang--es/index.htm>.

SALMINEN, Simo. Have young workers more injuries than older ones? An international literature review. Journal of Safety Research [en línea] 2004. Vol 35 N° 5 , p. 513-521. [consultado 3 noviembre 2015] Disponible en: ELSEVIER: SCIENCE DIRECT, vía Universidad Industrial de Santander: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002243750400088X>

SARACCI, Rodolfo and WILD P., Christopher International Agency for Research on Cancer the first 50 year. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2015, pp. 259



SHELL BITUMEN. The Shell Bitumen Handbook. Fifth Edition. London: Shell UK Oil Products Limited, 2003. 460p.

SOCIEDAD COLOMBIANA DE ERGONOMIA. [sitio Web] Bogotá: Sociedad Colombiana de Ergonomía, 2016. [Consultado 4 Junio 2016] Disponible en: <http://www.sociedadcolombianadeergonomia.com/>

TORRE GOMEZ DE ENTERRIA, Marino. Nuevas tecnologías adaptadas al cambio climático para los caminos rurales: mezclas bituminosas templadas y semicalientes. Agrònoms: Enginyers Agrònoms de Catalunya. [en línea] 2011. 25 de Octubre. [consultado 3 Diciembre 2015] Disponible en Internet: <http://www.agronoms.cat/base-coneixement/articles/view.php?ID=36&pdf>

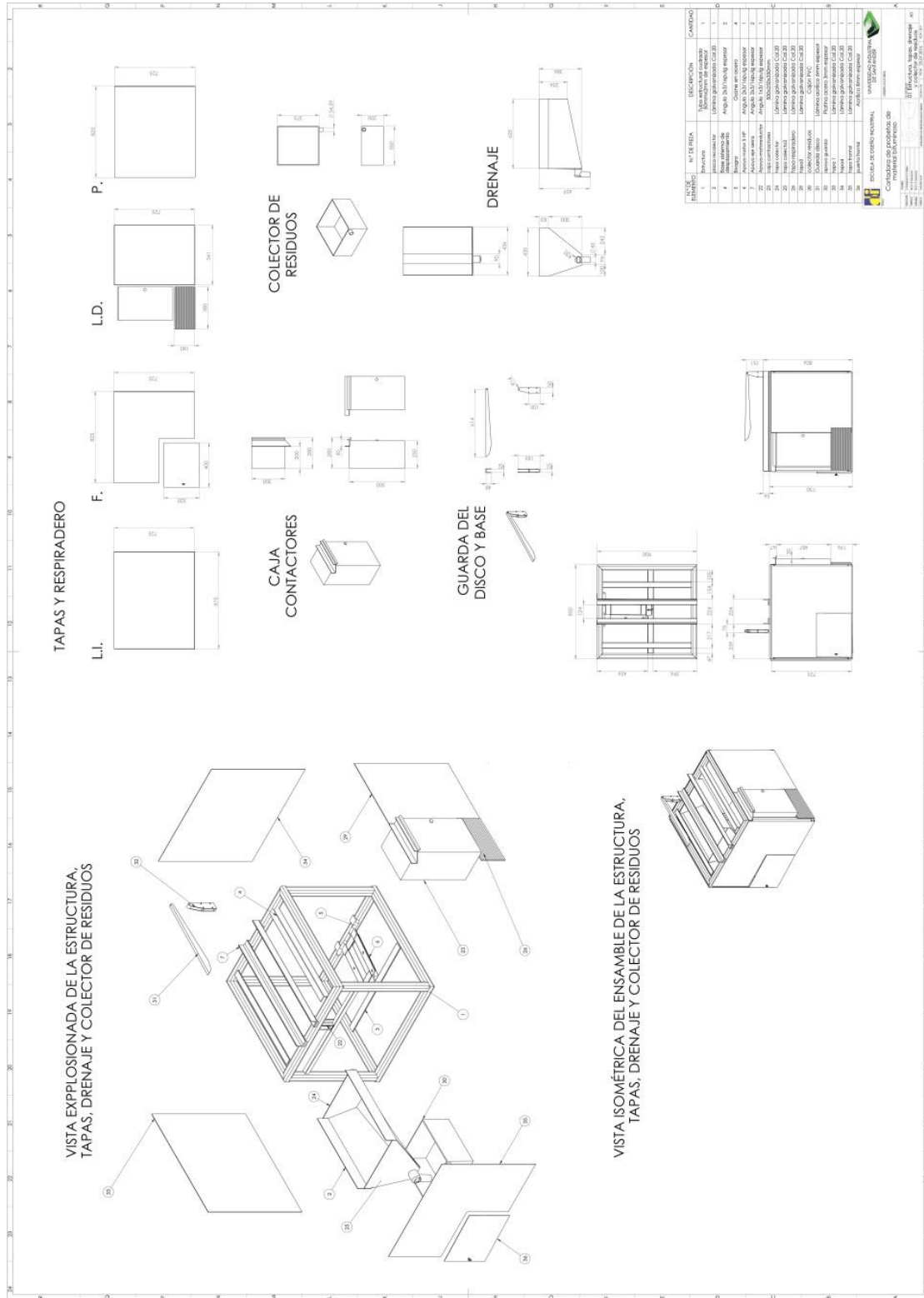
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER: CORASFALTOS. [sitio Web] Piedecuesta, Santander: UIS: CORASFALTOS, 2016 [Consultado (23 de junio de 2015). Disponible en: <http://www.corasfaltos.com/index.php/quienes-somos/mision>



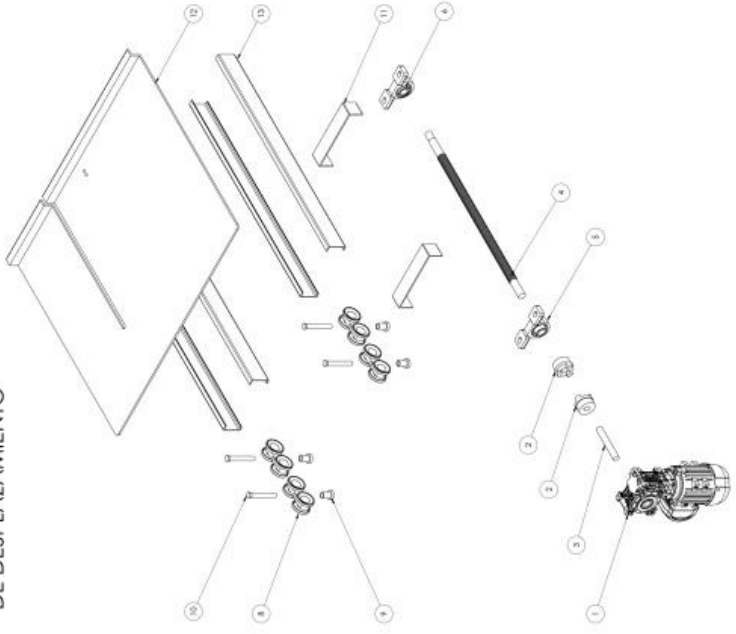
ANEXOS



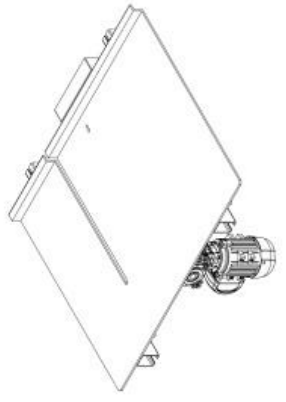
ANEXO A: PLANOS DE LA CORTADORA



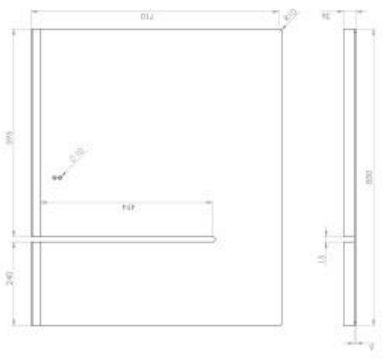
VISTA EXPLOSIONADA DEL SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO



VISTA ISOMÉTRICA DEL ENSAMBLE DEL SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO



PLACA MÓVIL



RIEL RODACHIN



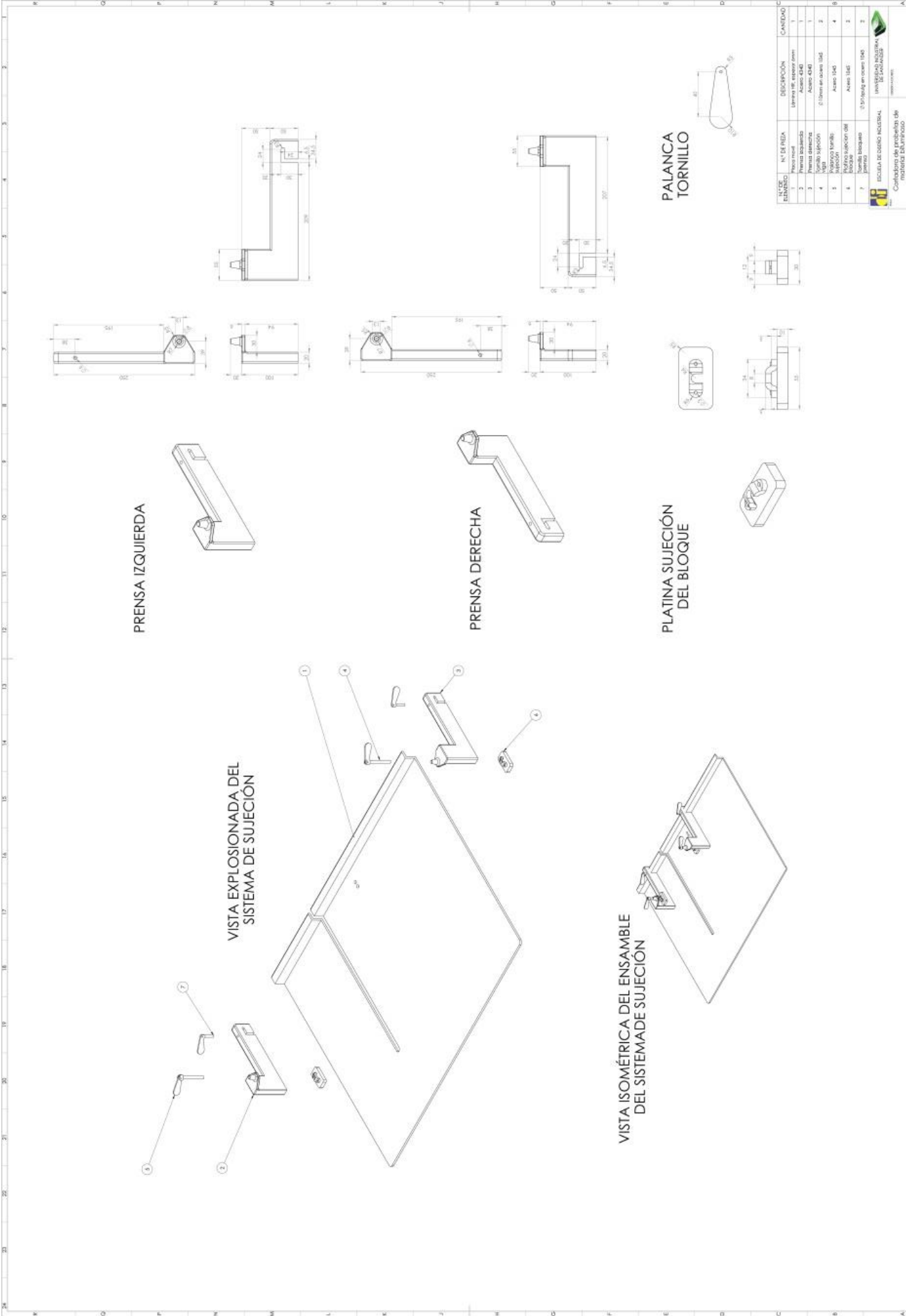
TORNILLO DE DESPLAZAMIENTO



PLACA BASE CHUMACERA



BLAVE IDENTIFIC.	N° DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	rodachin	rodachin	1
2	placa base chumacera	placa base chumacera	2
3	placa móvil	placa móvil	1
4	riels	riels	1
5	tornillo de desplazamiento	tornillo de desplazamiento	2
6	chumacera	chumacera	2
7	rodachin	rodachin	2
8	rodachin	rodachin	2
9	placa base chumacera	placa base chumacera	2
10	placa móvil	placa móvil	2
11	placa base chumacera	placa base chumacera	2
12	placa móvil	placa móvil	2
13	rodachin	rodachin	2



PRENSA IZQUIERDA

PRENSA DERECHA

PLATINA SUJECIÓN DEL BLOQUE

PALANCA TORNILLO

VISTA EXPLOSIONADA DEL SISTEMA DE SUJECIÓN

VISTA ISOMÉTRICA DEL ENSAMBLE DEL SISTEMA DE SUJECIÓN

Nº DE PIEZA	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	1	Placa metal	1
2	2	Uso de acero 304	1
3	3	Placa de aluminio	1
4	4	Placa de aluminio	1
5	5	Uso de acero 304	2
6	6	Placa de aluminio	1
7	7	Uso de acero 304	2



