



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

VALIDACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL CAUCHO EN BASE A ENSAYOS DE DUREZA

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presenta el bachiller:

GUSTAVO DANIEL ESPINOZA ANAYA

ASESOR: Ing. José Carlos Álvarez Merino

Lima, Octubre del 2008

RESUMEN

El sector minero peruano y su constante crecimiento debido a las riquezas que nuestro país posee, hace que muchas empresas nacionales y extranjeras lo vean como una fuente de riqueza al que se debe explotar y es por ello que la competitividad a todo nivel organizacional es muy importante para las compañías proveedoras de equipos mineros hoy en día.

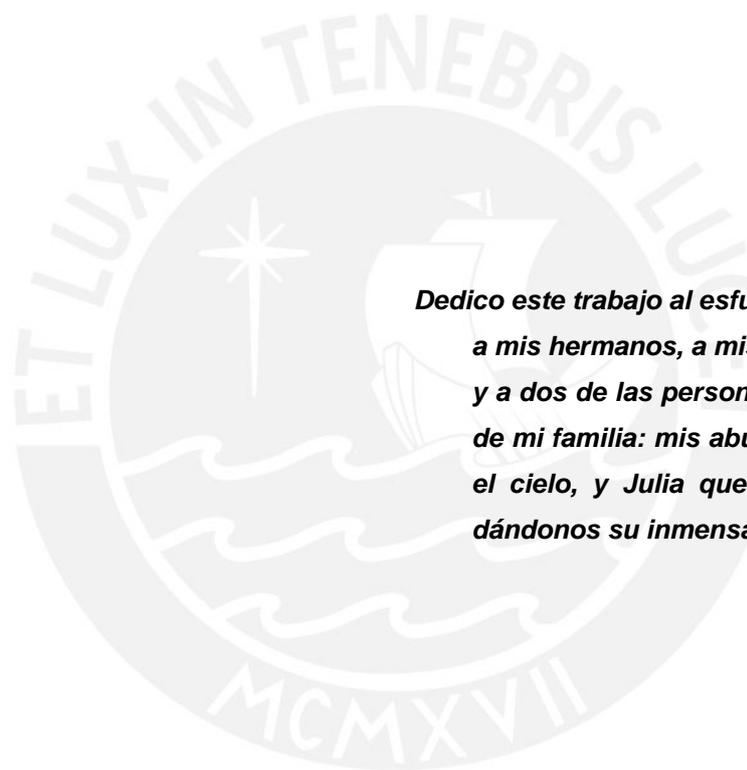
El presente proyecto se ha desarrollado en una empresa peruana del rubro minero, a la cual denominaremos Empresa “E”, que a la fecha ya tiene basta experiencia en fabricar, proveer equipos y servicios técnicos a las diferentes compañías mineras establecidas en el Perú. Dichos equipos son producidos en base a un forro interior de caucho y una plataforma exterior de metal, donde el tratamiento del caucho es dado a través del proceso productivo de vulcanización y el del metal es constituido por medio de operaciones de maestranza y calderería. Es justamente la vulcanización el principal motivo de análisis de este proyecto, al cual se le ha denominado como “Validación del proceso productivo del caucho en base a ensayos de dureza”.

Se ha escogido el termino “validación” debido a que la vulcanización del caucho es un proceso de transformación interno por medio de calor, donde el subproducto no puede ser visto durante su transformación a causa de la cocción del caucho. Por ende, la validación de este proceso productivo se da solo a través de los resultados finales, para los cuales se ha evaluado la variación de diferentes factores que influyen sobre diversas propiedades físicas, entre ellas la dureza, que forma parte del análisis de este proyecto para llegar a la validación del proceso productivo del caucho en la empresa.

El procesamiento del caucho a estudiar, tiene un total de nueve operaciones claramente definidas, donde la formulación de insumos, la molienda del caucho y la vulcanización propiamente dicha son importantes para llegar a los resultados deseados de dureza, que son obtenidos por medio de ensayos acordes a la norma ASTM D2240, los cuales a través de la aplicación de un Diseño de Experimentos denominado EVOP Simplex permite buscar siempre un punto óptimo que servirá como propuesta para una aplicación a escala de producción normal.

El resultado final de este estudio dará referencias acerca de la rentabilidad que la Empresa “E” podría obtener; asimismo, servirá como una fuente de conocimientos para poder implementar, en un futuro próximo, el área de control de calidad en la Empresa “E”.





*Dedico este trabajo al esfuerzo de mis padres,
a mis hermanos, a mis tíos Erick y Emer
y a dos de las personas más importantes
de mi familia: mis abuelitas Teresa, ya en
el cielo, y Julia que vive con nosotros
dándonos su inmensa alegría.*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
<u>CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL SECTOR MINERO Y LA EMPRESA</u>	
1.1 Análisis del sector minero	4
1.1.1 Estadísticas del Sector	4
1.1.2 Problemática del sector	8
1.2 La Empresa	9
1.2.1 Descripción general	9
1.2.2 Perfil Organizacional y Principios Empresariales	10
1.2.3 Ideas generales sobre los procesos productivos y productos	11
<u>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</u>	
2.1 El caucho	14
2.1.1 Origen	14
2.1.2 Teoría del caucho	14
2.1.3 El caucho natural	15
i. Obtención del caucho natural	15
ii. Propiedades generales	17
2.1.4 Caucho sintético	19
i. Principales tipos de caucho sintético	19
2.2 Proceso Productivo de Vulcanización	21
2.2.1 Concepto	21
2.2.2 Fundamentos del proceso	22
i. Durante la etapa de vulcanizado	22
ii. Después de la etapa de vulcanizado	23
iii. Causas que generan un mal registro de temperaturas	24

2.2.3	Cura óptima	25
2.2.4	Control del proceso	27
2.3	Validación del Proceso Productivo de Vulcanización	28
2.3.1	Ensayos de Dureza	28
	i. Características de la muestra	29
2.4	Diseño de experimentos	30
2.4.1	Justificación de la aplicación del método EVOP	31
2.5	Seis Sigma	32
2.5.1	Significado	32
2.5.2	Desarrollo de la metodología	33

CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DEL PROCESAMIENTO DEL CAUCHO EN LA EMPRESA.

3.1	Descripción del procesamiento del caucho en la empresa	35
3.2	Mediciones del proceso en la actualidad	46
3.3	Aplicación del Diseño de Experimentos EVOP	47
3.3.1	Elección de factores relevantes al Proceso de Vulcanización	48
	i. Factores no considerados	48
	ii. Factores considerados	49
	iii. Combinación de factores	49
	iv. Determinación de niveles por factor	51

	v.	Formato para la toma de datos y cálculos	53
	vi.	Ejemplo de aplicación	54
57	3.3.2	Realización de los ensayos de dureza	
	3.3.2.1	Toma de datos	
58		i.	Ciclo Inicial
58		ii.	Ciclo Uno
60		iii.	Ciclo Dos
61		iv.	Ciclo Tres
65	3.3.2.2	Conclusiones para las durezas obtenidas	
69			
	<u>CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y PLANTEAMIENTOS DE MEJORA PARA EL PROCESO DEL CAUCHO.</u>		
71	4.1	Análisis, planteamientos y mejoras	
	<u>CAPÍTULO 5: MÉTODOS DE CONTROL Y SEGUIMIENTO PARA EL PROCESO DEL CAUCHO.</u>		
77	5.1	Métodos de control y seguimiento	
	<u>CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROCESO.</u>		
79			
	<u>CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</u>		

7.1 Conclusiones

82

7.2 Recomendaciones

84

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

86



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Ranking de Producción Minera	5
Tabla 1.2	Producción Minera por Principales Productos	6
Tabla 1.3	Comparativo de la Producción Minera por Principales Productos 2007- 2008	6
Tabla 1.4	Exportaciones Mineras 2007- 2008	7
Tabla 1.5	Empresas Mineras y Recursos que Explotan	8
Tabla 1.6	Compañías mineras a las que abastece la empresa	10
Tabla 2.1	Características del caucho a determinadas temperaturas	19
Tabla 3.1	Factores y sus respectivas combinaciones para la realización del EVOP Simplex	50
Tabla 3.2	Valores actuales para la realización del Diseño de Experimentos EVOP Simplex	53
Tabla 3.3	Formato para la toma de datos y cálculos	53
Tabla 3.4	Registro de datos y cálculos EVOP WB16 Vs. Rubbersil correspondientes al ciclo 1	54
Tabla 3.5	Registro de datos y cálculos EVOP WB16 Vs. Rubbersil correspondientes al ciclo 2	55
Tabla 3.6	Registro de datos y cálculos EVOP WB16 Vs. Rubbersil correspondientes al ciclo 3	56
Tabla 3.7	Combinación de insumos y sus respectivos valores para la aplicación del EVOP	57
Tabla 3.8	Valores de Dureza Shore A correspondientes al Ciclo Inicial	59

Tabla 3.9	Valores de Dureza Shore A correspondientes al Ciclo Uno	60
Tabla 3.10	Valores de Dureza Shore A correspondientes al Ciclo Dos	62
Tabla 3.11	Valores de Dureza Shore A correspondientes al Ciclo Tres	66
Tabla 3.12	Cálculo de los límites de control para el actual proceso productivo del caucho	69
Tabla 6.1	Datos numéricos actuales sobre costos y ventas de la empresa	79
Tabla 6.2	Datos numéricos sobre costos y ventas acorde a las mejoras planteadas	80



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Composición química del caucho	18
Figura 2.2	Probeta y matriz a usar para el Diseño de Experimentos EVOP	29
Figura 2.3	Probeta dentro de la matriz a usar para el Diseño de Experimentos EVOP	29
Figura 2.4	Ciclo de Deming detallado	32
Figura 2.5	Ciclo de Deming	32
Figura 3.1	Insumos para el proceso de vulcanización	37
Figura 3.2	Máquina cortadora de caucho	38
Figura 3.3	Trozos de caucho para la molienda	38
Figura 3.4	Extrusión del caucho	39
Figura 3.5	Rodillos del molino de caucho	40
Figura 3.6	Plancha de caucho resultante del laminado	40
Figura 3.7	Preparación previa al vulcanizado: inserción del caucho a la matriz	42
Figura 3.8	Vulcanización del caucho en la prensa	43
Figura 3.9	Enfriamiento de la matriz	44
Figura 3.10	Operación de acabado	44
Figura 4.1	Propuesta de distribución para el área de insumos químicos	73
Figura 5.1	Durómetro con identificación acorde a la norma ASTM D 2240	78

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 2.1	Naturaleza interna del caucho luego de las incisiones	16
Gráfica 2.2	Composición del caucho	17
Gráfica 2.3	Consecuencias de cura empleando tres periodos diferentes de moldeo para un mismo artículo	23
Gráfica 2.4	Valores para la rapidez de cura para materiales de caucho natural	26
Gráfica 3.1	Diagrama de Operaciones del proceso del caucho en la Empresa “E”	45
Gráfica 3.2	Esquema de valores para el análisis del EVOP Simplex	51
Gráfica 3.3	Esquema de valores para el análisis EVOP WB16 Vs. Rubbersil	56

INTRODUCCIÓN

Debido a la actual competencia y desarrollo que vive el sector minero peruano, las empresas de fabricación de productos y prestación de servicios conexos buscan, cada vez más, un desarrollo en todas sus áreas de gestión y producción con el fin de satisfacer las necesidades y exigencias que cada compañía minera plantea con el objetivo de explotar organizada y adecuadamente los recursos minerales que abundan en el Perú.

Actualmente en nuestro país existen muchas empresas manufactureras, pertenecientes al sector minero, que trabajan con determinados materiales que proporcionan diferentes propiedades que son muy útiles para el producto que desean obtener y para el uso que se le quiere dar en las distintas actividades mineras existentes.

Este es el caso de la empresa en estudio, que de ahora en adelante la denominaremos como **Empresa “E”**, la cual basa su producción en el procesamiento de materiales de aceros tipo VCL, VCN y SAE 1045 característico para los ejes, acero estructural A36 para el caso de las planchas y caucho para la fabricación de los forros de protección interior y exterior de los equipos mineros.

Es justamente a este proceso del caucho, al cual se le hará un análisis exhaustivo y se darán las recomendaciones y conclusiones adecuadas en el presente proyecto para que el actual proceso de vulcanización de dicho polímero tenga mejores resultados y de esta manera se mejore la calidad de los productos, se reduzcan y eliminen el número de devoluciones y, finalmente, se cree una empresa cada vez más competitiva.

1. Objetivos de la investigación.

1.1. Objetivo general.

Validar el procesamiento del caucho que se realiza actualmente en la empresa “E”, a través de un tipo de diseño de experimentos denominado Evolución Operativa (EVOP), la cual permitirá identificar las variables más significativas del proceso y en base a éstas plantear y poner en práctica las mejoras en la calidad del producto final.

1.2. Objetivo específico.

Reducir y eliminar los costos inmersos en la fabricación de los productos que generan devoluciones, mejorando así la rentabilidad de la empresa, la satisfacción del cliente y la imagen corporativa de la organización.

2. Justificación de la investigación.

En la actualidad, algunas empresas proveedoras del sector minero no realizan diversos tipos de control de calidad que sus subproductos necesitan para poder dar como resultado un producto final acorde a las especificaciones que las diversas compañías requieren para poder darles uso.

En particular, este es el caso de la Empresa “E”, la cual no realiza un seguimiento y control de calidad adecuado al procesamiento del caucho y productos generados por éste a través de las diversas operaciones. Esto ha generado, en varias oportunidades, que sus productos finales le sean devueltos por no satisfacer los requerimientos del cliente, originando así pérdidas económicas, de recursos y de tiempo en la producción mal realizada.

Es por ello que se propone la validación del procesamiento del caucho a través de un diseño de experimentos denominado Evolución Operativa (EVOP), de modo que pueda ser guía para una futura implementación del área de calidad en la Empresa “E” y así aminorar y eliminar las devoluciones de productos y las pérdidas económicas producidas por un mal seguimiento y control del proceso de vulcanización del caucho. Este logro contribuirá a estandarizar el seguimiento de los procesos productivos del caucho con ayuda de la evaluación ISO 9001:2000, que permitirá una pronta certificación de la empresa en base a esta norma.

El análisis y la futura implementación de esta tesis permitirán, además, cumplir adecuadamente con las especificaciones del producto final señaladas por las diversas compañías mineras que conforman y conformarán su cartera de clientes.

3. Hipótesis.

3.1. Hipótesis General.

HG: Si los resultados de los ensayos de dureza, a través de un análisis EVOP, llegan a tener un mejor rendimiento al actual, entonces el proceso productivo del caucho será estandarizado de acuerdo a esas condiciones, obteniéndose así productos de mejor calidad.

3.2. Hipótesis Secundarias.

H1: Si el proceso productivo del caucho se logra estandarizar a las mejores condiciones de operación, entonces el área de trabajo metálico se verá obligada a mejorar, de modo que las operaciones de caucho, maestranza y calderería estén paralelas y así el Lead time esté dentro de las exigencias del cliente.

H2: Si se fabrican productos de mejor calidad, entonces se reducirá el número de observaciones y devoluciones por parte de los clientes.

H3: Si se reduce el número de observaciones y devoluciones de los productos, entonces se reducirán los costos y el tiempo por mala fabricación.

H4: Si se fabrican productos de mejor calidad, entonces la fidelidad entre los clientes y la empresa se incrementaría.

H5: Si se incrementa la fidelidad entre el cliente y la empresa, se venderían más productos al mercado, obteniéndose una mayor rentabilidad a favor de la empresa.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL SECTOR MINERO Y LA EMPRESA.

1.1 Análisis del sector minero.

Desde hace ya varios años la actividad minera en el Perú se ha constituido como una importante fuente de divisas para la economía nacional, es así que normalmente representa más del 50% de las exportaciones peruanas, creando alrededor de 4 mil millones de dólares por año a favor de la economía nacional.

Sin embargo, a pesar de que existe un importante flujo monetario en el sector (representado en porcentaje del PBI), no se da el mismo caso en cuanto a generación de trabajo se refiere, ya que el porcentaje de la Población Económicamente Activa (PEA) siempre es inferior al del PBI nacional (en el 2003 la minería constituyó el 3.7% de la PEA contra 4.7% de aporte al PBI). Esta diferencia porcentual se debe a que las actividades mineras mayormente utilizan maquinaria de avanzada tecnología, no requiriendo grandes cantidades de mano de obra para la realización de los trabajos de campo.

En la producción minera nacional se explotan diversos tipos de minerales, pero principalmente se producen Hierro, Cobre, Zinc, Oro, Plata y Plomo. Éstos se encuentran dentro del 16% de reservas minerales que el Perú posee, de los cuales solo se ha explotado un 12% aproximadamente hasta la fecha (Fuente: INEI). Sin embargo este porcentaje de explotación se podría llegar a triplicar si es que existiese un aporte de tecnología más moderna por parte de las diferentes compañías establecidas en las distintas minas del país, pero para esto se necesitan analizar y establecer proyectos de inversión adecuados, en donde se tengan en cuenta la cantidad de mineral que se puede explotar y los beneficios que pueda generar dicha explotación para los diferentes actores de la actividad minera (las comunidades, el estado y las propias compañías mineras).

1.1.1 Estadísticas del sector.

El Perú es uno de los mayores productores de metales del mundo, los doce principales minerales producidos son: oro, cobre, plata, zinc, plomo, estaño, hierro, bismuto, selenio, molibdeno, telurio e indio. De acuerdo a la producción correspondiente al 2005, nuestro país ocupa puestos importantes dentro de la

producción minera mundial (**ver Tabla 1.1**) siendo una de las plazas más atractivas para la inversión.

Según las fuentes para la realización del ranking de producción mundial, la producción del año 2005 dio como resultados (con respecto al año 2004) el aumento en la producción de la plata en un 4.35%, el auge del molibdeno en 21.6 %, el crecimiento de la producción aurífera en un 20% (gracias principalmente al aporte de Yanacocha y a la reciente entrada del proyecto Alto Chicaza) y una leve caída de la producción de zinc en aproximadamente 0.61%.

	RANKING DE PRODUCCIÓN MINERA			
	2001		2005	
	Mundo	Latinoamérica	Mundo	Latinoamérica
Cobre	5	2	3	2
Oro	7	1	5	1
Zinc	3	1	3	1
Plata	2	2	2	2
Plomo	4	1	4	1
Estaño	3	1	3	1
Molibdeno	4	2	4	2
Bismuto	3	1	3	1
Selenio	8	2	8	2
Telurio	3	1	3	1
Indio	7	1	7	1

Tabla 1.1 Ranking de Producción Minera.

Fuente: Revista Horizonte Minero Mayo- Junio 2006 N° 40. Ministerio de Energía y Minas.

Para corroborar párrafos anteriores, creo necesario presentar datos numéricos en cuanto a la producción 2005 de los principales minerales explotados en el país, además de mostrar un comparativo de las producciones mineras correspondientes al 2007 y 2008 dentro del primer trimestre del año. Estos nos darán cierta referencia de cuan tan viable es la actividad minera en el Perú, asimismo nos proporcionará una idea de la cantidad de riquezas minerales que actualmente son producidas por las diferentes empresas nacionales y extranjeras.

PRODUCCIÓN MINERA POR PRINCIPALES PRODUCTOS			
	2004	2005	% variación
Oro(Grs.f)	173,223,817	209,815,144	20.2
Cobre(TMF)	1,035,574	1,009,898	-2.48
Plata(Kg.f)	3,059,962	3,193,146	4.35
Zinc(TMF)	1,209,006	1,201,671	-0.61
Molibdeno(TMF)	14,246	17,325	21.61
Estaño(TMF)	41,613	42,145	1.25
Hierro(TLF)	4,247,174	4,564,989	7.48
Plomo(TMF)	306,211	319,345	4.29

Tabla 1.2 Producción Minera por Principales Productos.

Fuente: Revista Horizonte Minero Mayo- Junio 2006 N° 40. Ministerio de Energía y Minas.

METALES	Unidad de Medida	ENERO - MARZO		
		2007	2008	Var. % 2008/2007
COBRE	(TMF)	266.199	292.029	9,70%
ORO	(Grs.f.)	42.186.059	43.448.132	2,99%
ZINC	(TMF)	354.505	380.957	7,46%
PLATA	(Kg.f.)	826.403	837.596	1,35%
PLOMO	(TMF)	81.830	81.830	0,00%
HIERRO	(TLF)	1.296.370	1.298.558	0,17%
ESTAÑO	(TMF)	9.634	9.676	0,44%
MOLIBDENO	(TMF)	2.842	4.144	45,81%

Tabla 1.3 Comparativo de la Producción Minera por Principales Productos 2007-2008.

Fuente: Dirección General de Minería- PDM- Estadística Minera

Como se puede ver, el cobre, oro y zinc son los minerales que mayor crecimiento han adquirido en el primer trimestre del año 2008 con respecto al del 2007, se espera que con el correr de los meses del presente año, la producción de todos los productos en general alcancen índices muy considerables, los cuales permitirán al Perú un mayor crecimiento económico a través de las exportaciones de los mismos, que según el Reporte de exportaciones mineras 2007- 2008 ((**ver Tabla 1.4**), va aumentando en porcentajes muy favorables.

EXPORTACIONES MINERAS 2007 - 2008

EXPORTACIONES	UNIDADES	Enero - Marzo		%	Marzo		%
		2007	2008		2007	2008	
Cobre Valor	(US\$MM)	1,269	1,831	44.3%	544	774	42.2%
Cantidad	(Miles Tm)	244	270	11.0%	102	104	1.5%
Precio*	(Ctvs US\$/Lib.)	236	307	30.0%	241	338	40.1%
Oro Valor	(US\$MM)	941	1,419	50.7%	363	497	37.1%
Cantidad	(Miles Onz. Troy)	1,447	1,528	5.6%	554	514	-7.2%
Precio	(US\$/Onz Troy)	651	929	42.7%	655	968	47.7%
Zinc Valor	(US\$MM)	520	427	-17.9%	197	144	-26.8%
Cantidad	(Miles Tm.)	251	311	23.8%	98	105	7.1%
Precio*	(Ctvs US\$/Libra)	94	62	-33.7%	91	62	-31.7%
Plata Valor	(US\$MM)	136	172	26.4%	46	67	46.3%
Cantidad	(Miles Onz. Troy)	10	10	-3.0%	3	3	0.8%
Precio*	(US\$/Onz Troy)	13	17	30.4%	13	19	45.1%
Plomo Valor	(US\$MM)	225	340	51.4%	96	116	21.1%
Cantidad	(Miles Tm.)	107	121	13.1%	45	38	-15.6%
Precio*	(Ctvs US\$/Libra)	95	127	33.8%	96	138	43.4%
Estaño Valor	(US\$MM)	96	182	90.8%	33	57	75.9%
Cantidad	(Miles Tm.)	8	11	39.7%	2	3	30.7%
Precio*	(Ctvs US\$/Libra)	555	758	36.6%	632	850	34.5%
Hierro Valor	(US\$MM)	67	76	13.8%	30	28	-5.5%
Cantidad	(Miles Tm.)	2	2	0.3%	1	1	-14.2%
Precio*	(US\$/Tm)	35	40	13.5%	36	40	10.1%
Exportaciones Mineras (US\$MM)		3,411	4,752	39.3%	1,362	1,775	30.3%

Fuente: BCR

* Precios Promedio de Exportación

Tabla 1.4 Exportaciones Mineras 2007-2008.

Fuente: BCR

De acuerdo a la información dada anteriormente, en el Perú se explotan diferentes tipos de minerales que se encuentran en distintas zonas del país, es así que se hace necesario tener una política de Estado con un sistema y marco jurídico sólido que garantice la inversión, el desarrollo regional y el bienestar local para que tanto las compañías mineras como los gobiernos locales y regionales sientan el bienestar económico y ambiental que se requiere por la realización de las actividades mineras.

Actualmente el sector minero concentra el 40% de las inversiones en compañías canadienses (Barrick Misquichilca y Barrick Gold), seguido de empresas provenientes de Australia, Italia, EEUU y Japón. En la **Tabla 1.5** se podrá ver una lista de las empresas mineras con más auge en el país.

EMPRESA MINERA	MINERALES QUE EXPLOTA
Southern Perú Cooper Corporation	Molibdeno, Cobre
Cía. Minera Antamina S.A.	Zinc, Plata, Plomo, Molibdeno, Cobre
BHP Billiton Tintaya S.A.	Cobre
Soc. Minera Cerro Verde S.A.	Cobre
Doe Run Perú S.R.L	Cobre
Cía. Minera Atacocha S.A.	Zinc, Plata, Plomo, Oro, Cobre
Minera Barrick Misquichilca S.A.	Plata, Oro
Minera Yanacocha S.R.L.	Plata, Oro
Volcán Cía. Minera S.A.	Plata, Plomo
Empresa Minera Iscaycruz S.A.	Zinc, Plomo, Cobre
Shougang Hierro Perú S.A.	Hierro
Minsur S.A.	Estaño

Tabla 1.5. Empresas Mineras y Recursos que Explotan.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

1.1.2 Problemática del sector.

No hay duda que en la actualidad, los mayores problemas que tiene la minería son debidos al rechazo que tienen las comunidades por la explotación de los minerales en su región. Esto es consecuencia de una serie de desacuerdos que tiene los dirigentes comunales, los gobiernos regionales y la alta dirigencia de las compañías mineras. Dichos desacuerdos pasan por ser de tipo económico (riesgos en las inversiones y problemas del Canon) y ambiental principalmente, que hacen de las inversiones extranjeras y nacionales cada vez más inestables.

El medio ambiente es un factor decisivo dentro del marco de las actividades mineras, ya que en muchas ocasiones las diversas empresas no cumplen con los requerimientos de las normas locales e internacionales establecidas para este tipo de actividades. Debido a esto es que muchas organizaciones están implementando un Sistema de Administración de Salud Ocupacional y Seguridad OHSMS (OHSAS 18001) que exponen un Sistema de Gestión de Riesgos Laborales con el fin de prevenir los accidentes y mejorar la rentabilidad de las empresas ya que los accidentes y enfermedades son un costo y pérdida para las organizaciones que no tienen un sistema de seguridad adecuado.

También dentro de las exigencias que se ponen las compañías mineras, está la de certificar un Sistema de Calidad en base a la familia de normas ISO 9000 e ISO14000 que les permitirá tener estándares de calidad adecuados hacia todas las procesos que realiza su organización de tal forma que se respete el medio ambiente y se reduzcan los problemas de gestión interna de la organización. Para cumplir con las tres normas señaladas es necesario que en la organización se tenga una política que sea compatible con cada una de ellas, y además que se

genere el compromiso necesario para poder implementarlas idóneamente, de tal forma que dé como resultados un uso eficiente de recursos, menores costos operativos, acceso a nuevos mercados, mejora de imagen, una mayor productividad, mayores ingresos y una alta competitividad.

En cuanto a los problemas del tipo económico, éstos en los últimos años han ido bajando de intensidad debido a que los gobiernos locales y regionales han trabajado fuertemente para que las comunidades y ciudades de influencia tengan un mayor aporte por parte del Estado debido a las rentas e ingresos que genera la explotación minera. Más adelante detallaremos al respecto ya que esto lo trataremos como una oportunidad de mejora y no como una problemática del sector.

Finalmente, haciendo un macro análisis, las empresas proveedoras del sector urgen de diversos controles a sus procesos productivos, con el fin de satisfacer los requerimientos de las compañías a las que abastecen. Existen un sin número de especificaciones que se han de cumplir para la fabricación de los diversos equipos mineros, específicamente, tratando ya el tema de la presente tesis, los productos hechos en base a caucho pueden presentar distintas fallas en las etapas de producción, lo cual hace necesario un seguimiento y retroalimentación al proceso productivo (vulcanización) de modo que se puedan aminorar las pérdidas por una mala producción y mejorar la imagen de la empresa.

1.2 LA EMPRESA

1.2.1 Descripción general.

La información y el desarrollo de la presente tesis se realizarán en La Empresa “E”, la cual está dedicada desde hace 14 años a la fabricación, venta y servicios post venta de equipos mineros hechos a base de caucho y acero.

La empresa es una organización que en la actualidad se le puede considerar dentro del estatus de mediana empresa en pleno desarrollo, que a través del paso de los años ha ido incrementando su participación en el sector minero. Es así que en la actualidad atiende aproximadamente a un 20% del mercado, generando confianza entre sus clientes y buscando nuevos horizontes enfocados a aumentar su porcentaje de participación dentro del sector.

En la **Tabla 1.6** se mostrarán a las compañías que abastece actualmente la empresa y por las cuales viene buscando el desarrollo de sus sistemas operativos y de gestión, para que así puedan desarrollar un mejor producto y servicio.

Compañías Mineras a las que abastece la empresa

CIA. MINERA ATACOCCHA
 VOLCAN CIA. MINERA
 SHOUGANG HIERRO PERÚ
 DOE RUN PERÚ
 EMPRESA MINERA YAULIYACU
 CIA. MINERA COLQUISIRI
 CIA. MINERA MILPO
 CIA. MINERA HUALLANCA
 SOC. MINERA EL BROCAL
 CIA. MINERA CASAPALCA
 CIA. MINERA SANTA LUISA
 SOC. MINERA CORONA
 EMPRESA MINERA ISCAYCRUZ
 CIA. MINERA ARES
 CIA MINERA CONDESTABLE
 MINAS ARIRAHUA
 ANTAMINA
 BHP BILLITON TINTAYA
 MINERA YANACOA
 CIA. MINERA HUARON
 SIMSA
 MINERA AURÍFERA RETAMAS
 CIA. MINERA ARCATA
 CIA. MINERA RAURA

Tabla 1.6. Compañías mineras a las que abastece la empresa.
Fuente: La empresa "E".

1.2.2 Perfil Organizacional y Principios Empresariales.

El perfil y principios de cada organización existente están basados en la misión, visión, objetivos y políticas internas que cada área está dispuesta a desarrollar para el progreso de la empresa. En el caso de la empresa motivo de estudio, estos aspectos no se encuentran difundidos y definidos en su totalidad ya que las diversas gerencias y divisiones actúan de acuerdo a un criterio propio en la realización de las actividades, idea que es válida pero no suficiente para un desarrollo global de la empresa.

Sin embargo, de acuerdo al actual análisis realizado, la empresa resume su perfil organizacional y principios, en el resultado de todos sus procesos y en la evaluación de beneficios y costos que esto conlleva. Principalmente dentro de los motivos de beneficio no solo está el económico, sino también la satisfacción de sus clientes externos (compañías mineras y proveedores) e internos.

Para poder cumplir con todo lo anteriormente dicho, la empresa viene planificando desde ya hace un tiempo, el querer lograr una adecuada implementación y, posteriormente, la certificación acorde a las normas ISO 9001:2000.

1.2.3 Ideas generales sobre los procesos productivos y productos.

Los productos que procesa La Empresa “E” están manufacturados a base de caucho y acero, para los cuales se sigue una misma secuencia de operaciones que difiere solo en la forma que puedan tener los productos que se están fabricando.

El proceso de fabricación se realiza en las tres plantas con las que cuenta la organización, con el fin de explicar adecuadamente los procesos llamaremos a las plantas de acuerdo a los números 1, 2 y 3.

Todo el proceso comienza con la recepción de insumos químicos, materia prima como el caucho y aceros en todas sus formas (planchas, vigas, etc) según lo planificado. Todos los que son insumos químicos y caucho se almacenan en la **planta 3** y el resto va a la **planta 2**.

Las operaciones comienzan en la **planta 3**; la cual consta de dos molinos, en donde lo primero que se hace para la fabricación de los productos es el corte del caucho, por medio de una guillotina, en piezas pequeñas que permitan su adecuado laminado. Paralelamente, de acuerdo a la cantidad de caucho a procesar, se pesan y embolsan los insumos químicos, para luego agregarle al caucho que ya se va laminando por medio de unos rodillos, los cuales permiten que se formen planchas de caucho con buenas propiedades elásticas, de resistencia a la abrasión, dureza, etc.

Las planchas de caucho luego son llevadas hacia la **planta 1**, en donde se realizan todas aquellas operaciones que tienen por objetivo determinar, a través de matrices, las características físicas de cada producto. Para lograr esto, se inserta (manualmente) el caucho en la matriz elegida y posteriormente se realiza la vulcanización en una autoclave o en una prensa, acorde a las características y medidas del producto a vulcanizar.

Las operaciones metal mecánicas son realizadas en la **planta 2**, las que son ejecutadas paralelamente al procesamiento del caucho ya mencionado.

En la **planta 3** se realizan la siguiente secuencia de procesos:

- De acuerdo al plano, se realiza el trazado de las planchas metálicas mediante una tiza de calderería. El trazado que se hace corresponde al desarrollo de la parte que se está analizando.
- Luego se realiza el corte de las planchas.
- Se realiza la unión de las partes mediante soldadura y luego se realiza el esmerilado de las partes unidas.
- Dependiendo del producto que se está trabajando, se hace el corte a las vigas, las cuales sirven como estructura en algunos productos como los nidos de hidrociclones.
- Cuando ya esta armado el producto se realiza el arenado, que permite la limpieza de las partes para luego realizar un adecuado pintado del producto.

Cabe indicar que la manufactura de los productos tanto en los procesos de caucho, como metal mecánicos, se realizan con los planos de ensamble desarrollados por la división de producción. Adicionalmente a ello, es preciso mencionar que para el procesamiento del caucho se utilizan cuatro formulaciones especiales, las explican brevemente a continuación:

- F-100:** esta mezcla de insumos es la más común en la empresa y es conocida como la de baja dureza, ya que determina valores teóricos que están alrededor de 35 ± 5 Shore A. Para el caso del presente proyecto es la que se tomará como referencia para futuras descripciones de todas las operaciones.
- F-200:** acorde a sus cantidades e insumos químicos involucrados, determina durezas que están alrededor de 60 Shore A. Se utilizan básicamente como protección exterior para los equipos fabricados y tanques de las celdas fabricadas.
- F-400:** según los insumos y sus cantidades respectivas, determina durezas que van de 65 a 68 Shore A. Al igual que el caso anterior, sirven como protección exterior para los equipos manufacturados.
- Especial:** es determinada al mezclar los insumos respectivos con un tipo de caucho sintético denominado Neopreno. Su utilización es adecuada en caso el mineral a tratar tenga ácido y un ph elevado. La

principal característica de la plancha de caucho resultante de esta mezcla, es que presenta una dureza mayor a la brindada por el caucho natural.

En todos los casos anteriores, el uso de antioxidantes permite que el material fabricado no sufra mayores daños ante bruscos cambios de altitud.

En el **anexo 1** se mostrará una lista de los productos que fabrica la empresa de acuerdo a los procesos descritos anteriormente.



CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.

2.1 EL CAUCHO.

2.1.1 Origen.

El lugar de origen del caucho es el centro y sur de América, donde muchas civilizaciones la usaron de diferentes formas, por ejemplo: como pelotas de juego (en las civilizaciones Mesoamericanas), tipos de zapato de goma (en la Cultura Maya) y como tiras para sostener productos de piedra y metálicos.

El origen del nombre caucho se remonta hacia mucho antes de la primera visita de Colón a América, en donde los indios peruanos conocían al caucho como cauchue y es de este nombre de donde se deriva su nombre actual.

Debido a las visitas de los españoles y otros europeos al continente americano, surgió el ímpetu por conocer más a fondo el caucho y es así que en 1736 Charles de La Condamine hizo los primeros estudios, luego le siguieron otros científicos como el británico Joseph Priestley (1770), quién descubrió que el caucho podía ser utilizado como borrador de trazos hechos a lápiz. Sin embargo, la primera aplicación comercial que se le dio al caucho fue el de realizar un método de impermeabilizar tejidos al tratarlos con caucho disuelto en trementina.

Actualmente el caucho es muy usado en numerosas industrias y constituye una materia prima importante por sus diversas propiedades, las cuales serán explicadas en puntos posteriores.

2.1.2 Teoría del caucho.

El caucho natural es una sustancia orgánica formada por moléculas gigantes que están entrelazadas entre sí. Dichas moléculas son gigantes porque el caucho se va formando a través de monómeros, los cuales representan eslabones que están enlazados por cadenas moleculares.

Dependiendo de la fuerza de enlace de los monómeros, el caucho puede adquirir distintos grados de resistencia al estiramiento o deformación, característica que se conoce mayormente como viscosidad. Además el caucho, sea natural o sintético, se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica.

Generalmente el caucho posee altas fuerzas de atracción intermoleculares ya que al estirarse dichas moléculas, tienden a orientarse en la dirección del esfuerzo. Las

altas fuerzas de atracción generan en el caucho un comportamiento cristalino, cosa que no ocurre cuando las moléculas de caucho se desordenan y lo vuelven amorfo.

Como ya mencionamos anteriormente, el caucho tiene distintos grados de resistencia al estiramiento, para la cual es importante definir dos fases dentro de todas sus características ya mencionadas:

Fase elástica: se da cuando las fuerzas de atracción entre sus moléculas son grandes y no permiten la deformación del caucho. Por el contrario, ante una fuerza de estiramiento, el caucho vuelve a su configuración inicial.

Fase plástica: el resbalamiento de las moléculas de caucho, producto de la aplicación de una fuerza, genera una deformación que permite moldear, mezclar o extrusionar al caucho.

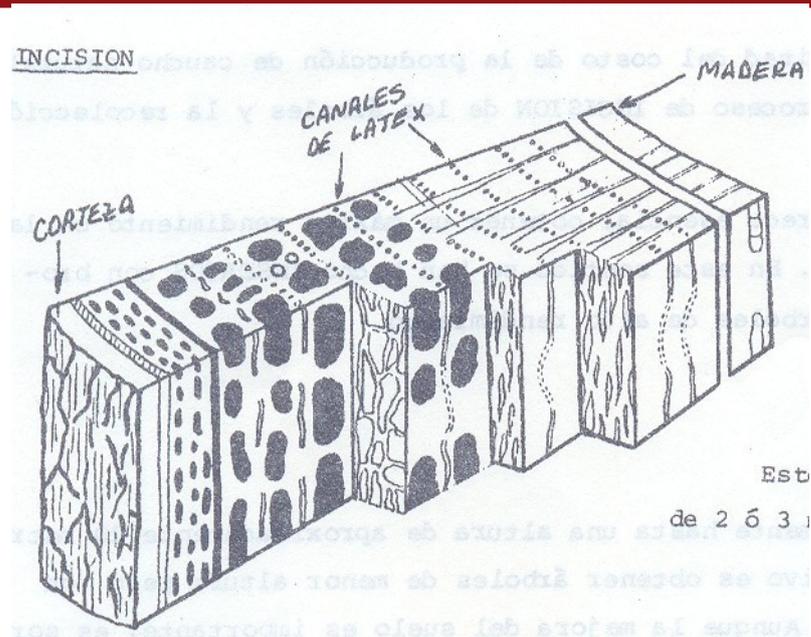
Estas dos fases coexisten en el caucho y son importantes para el proceso de vulcanización (que será explicado más adelante) que se pueda aplicar en él. Por tanto ante la falta de estas fases, se utilizan diversas cargas químicas que generan en el caucho un comportamiento elástico y plástico.

2.1.3 El caucho natural.

El caucho natural es un hidrocarburo que se encuentra en el látex de ciertas variedades de árboles de las familias: Moráceas, Euforbiáceas, Apocináceas y Asclepiadáceas. Mayormente el caucho es extraído de la especie *Hevea Brasiliensis*, perteneciente a la familia de las Euforbiáceas, originario del Amazonas.

i. Obtención del caucho natural.

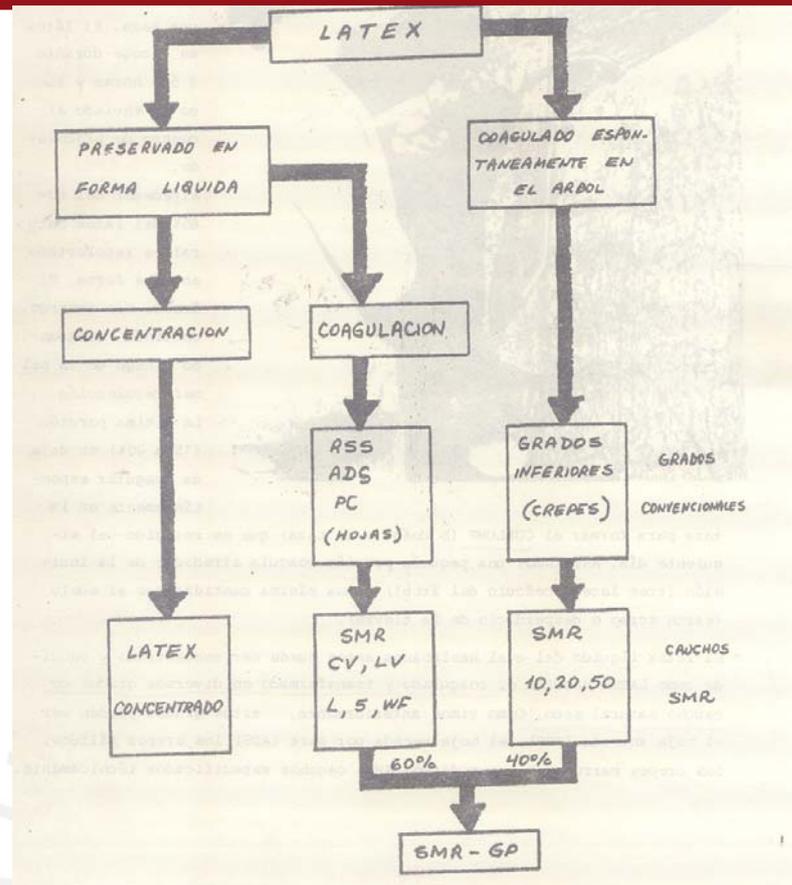
Para la extracción del caucho se hacen inscripciones de forma diagonal y en ángulo hacia abajo, aproximadamente entre 20 y 30 grados, en la corteza del árbol. Dicho corte produce una suspensión acuosa, llamada látex, de alrededor de 30- 40 % de caucho seco. En la **Figura 2.1** se muestra la naturaleza interna del caucho en donde se realizan las incisiones, indicado los canales por donde circula el látex y las zonas de la corteza y la madera del árbol.



Gráfica 2.1. Naturaleza interna del caucho luego de las incisiones.

Fuente: Friedenthal, E. (setiembre 1993). *Curso de capacitación Industria y Tecnología del caucho*, Universidad de Lima, pp. 23, Lima.

El látex producto de cada corte es recogido aproximadamente durante cuatro horas en un recipiente y suele ser de unos 30 ml. Luego de esto se arranca un trozo de la corteza de la base del tronco y se tapa el corte con el objetivo que se vuelva generar y se extraiga nuevamente. El látex líquido puede ser concentrado y vendido como Látex Natural, coagulado y transformado en diversos grados de caucho seco. El **Gráfico 2.1** esquematiza el origen de los grados más importantes de caucho natural.



Gráfica 2.2. Composición del caucho.

Fuente: Friedenthal, E. (setiembre 1993). *Curso de capacitación Industria y Tecnología del caucho*, Universidad de Lima, pp. 24, Lima.

El látex desde el momento de su extracción es sometido a varias operaciones con el fin de evitar su contaminación con hojas y ramas. Para esto se le coagula mediante calor o por acción de ácidos (que también hace que las partículas en suspensión del caucho en el látex se aglutinen), luego se le hace pasar a través de rodillos para darle forma de capas de caucho de un espesor aproximado de 0.6 cm. y finalmente, se seca al aire o con humo para su distribución.

ii. Propiedades generales.

El caucho natural es un polímero lineal que tiene como principal monómero al Isopreno 2- metilbutadieno cuya fórmula química es C_5H_8 el cual es un líquido de relativa volatilidad. En la **Figura 2.2** se muestra la composición química del caucho.

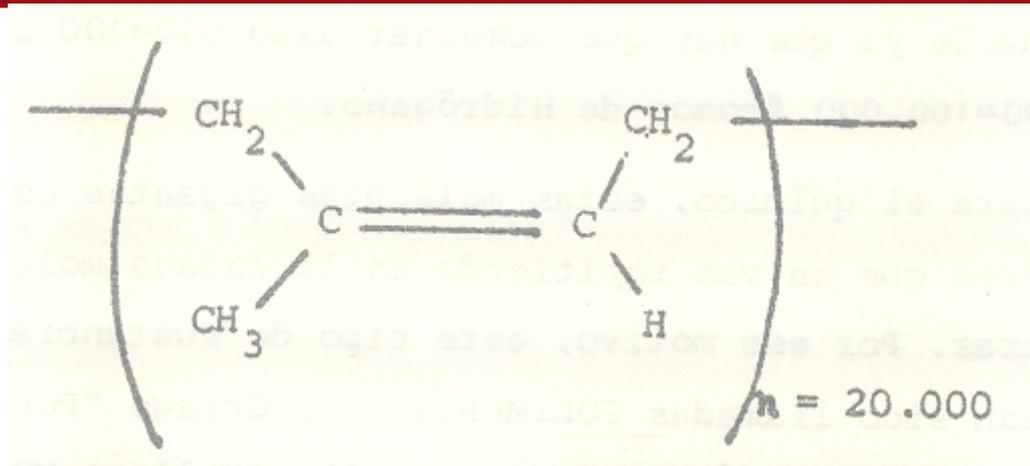


Figura 2.1. Composición química del caucho.

Fuente: Friedenthal, E. (setiembre 1993). *Curso de capacitación Industria y Tecnología del caucho*, Universidad de Lima, pp. 44, Lima.

La unión de los enlaces de los monómeros puede formar cadenas cortas y largas, las cuales dependiendo de su variabilidad de tamaño explican la viscosidad del caucho.

A continuación se describirá a las principales propiedades del caucho natural que influirán en el proceso de vulcanización:

Resistencia mecánica: el caucho natural es el que presenta más marcadamente el fenómeno de cristalización, por tanto tiene una buena resistencia mecánica que consiste en la resistencia contra todo tipo de rotura que puede ser producida por fuerzas de tracción, torque, flexión, compresión, desgarre y abrasión.

Desgarramiento y fatiga: la resistencia al desgarre por parte del caucho natural es buena. Esta se mide haciendo un corte inicial a una probeta de caucho, luego se le realiza un estiramiento donde se observa el grado de desgarre. La rotura o crecimiento del corte (fatiga) inicial determinará la resistencia del caucho natural.

Histéresis: el caucho es un material viscoelástico, el cual consume energía y retarda su deformación ante una fuerza. La histéresis está representada por esa energía que no permite fácilmente la deformación del caucho. Es importante indicar que a 200 ° C el caucho natural es muy blando porque sus soluciones son menos viscosas, por lo que a temperaturas entre 100 °C y 150 °C ya se puede procesar fácilmente (según Ing. Erick Espinoza Montes, Gerente de producción de la Empresa "E").

Resiliencia: es la medida de elasticidad ante la aplicación de fuerzas dinámicas. En el caso del caucho, ésta es medida mediante la aplicación de las fuerzas provenientes de péndulos que rebotan a determinada altura sobre el caucho. La resiliencia del caucho entonces estará entendida como la relación de la elasticidad producida por el choque de una fuerza proveniente de un péndulo a determinada altura.

Propiedades de fricción y desgaste: el desgaste o abrasión del caucho se produce cuando éste es sometido a una fricción contra una superficie que provoca el desprendimiento de pequeñas partículas de caucho.

Otras consideraciones a tomar en cuenta es que el caucho es insoluble en agua y a determinadas temperaturas tiene distintas características que son las siguientes:

Temperatura en grados Celcius	Característica
-195	sólido duro y transparente
0- 10	frágil y opaco
20- 50	blando, flexible y translúcido
mayor a 200	se descompone

Tabla 2.1. Características del caucho a determinadas temperaturas.

Fuente: http://es.encarta.msn.com/text_761556347/Caucho.html. Visitado en octubre del 2006.

También cabe indicar dependiendo de la temperatura, la densidad del caucho varía. A 0 ° C la densidad es de 0.950 y a 20 ° C es de 0.934

2.1.4 Caucho Sintético.

Es una sustancia obtenida artificialmente por reacciones químicas conocidas como condensación o polimerización a partir de determinados hidrocarburos insaturados. El caucho sintético tiene como compuesto básico al monómero, el cual forma moléculas grandes al ir entrelazándose con monómeros de su mismo tipo.

i. Principales tipos de caucho sintético.

A través del tiempo se han desarrollado numerosos tipos de caucho con propiedades específicas, los cuales sirven para aplicaciones especiales en la industria. A continuación se mencionará y se hará una breve descripción de algunos tipos de caucho sintético utilizados en la industria:

Caucho butílico: es un copolímero de bajo nivel de instauración que está formado por isobutileno e isopreno (aproximadamente 3% del contenido total). Este

copolímero es plástico, no tan flexible como el caucho natural, resistente a la oxidación y a la acción de productos corrosivos. A diferencia del caucho natural, el caucho butílico es difícil de vulcanizar.

Neopreno: es un polímero formado por el monómero cloropreno que tiene como materias primas al etino y al ácido clorhídrico. Tiene como principal propiedad a la resistencia al calor y a productos químicos como aceites y petróleos. Actúa como aislante en cables y maquinarias.

Coroseal: es un polímero formado por monómeros de cloruro de vinilo. Es un tipo de caucho que no se puede vulcanizar, pero tiene más resistencia a la abrasión que el caucho natural siempre y cuando no se le someta a altas temperaturas. El coroseal es resistente al calor, la corrosión y la electricidad.

Tiocol: obtenido por copolimerización de dicloruro de etileno y tetrasulfuro de sodio. No se deteriora en presencia de electricidad y la luz, y es muy utilizado como aislante eléctrico. Su principal importancia se debe a que puede trabajarse y vulcanizarse como el caucho natural.

Otros cauchos sintéticos han sido formados con métodos de polimerización parecidos a los anteriores, la única diferencia es que se han reducido los costos y se ha mejorado la calidad del polímero al utilizar el petróleo como aditivo durante la etapa de polimerización.

Polímeros de Butadieno: es un gas incoloro de olor parecido al de la gasolina, producido en la destilación del petróleo y usado para la fabricación de caucho sintético SBS. El caucho fabricado por la polimerización de butadieno es duro y a temperatura ambiente tiene un comportamiento elastomérico, mientras que a altas temperaturas puede ser procesado como plástico. Es difícil de tratar y presenta baja histéresis.

2.2 PROCESO PRODUCTIVO DE VULCANIZACIÓN

2.2.1 Concepto.

El proceso de vulcanización es aquel en donde algunos materiales de composición variable y malos conductores de energía calorífica son sometidos a un calentamiento, con azufre u otro acelerante de composición similar, que tiene por finalidad producir un material uniforme que posea cualidades físicas mejoradas. Este proceso se desarrolla durante un determinado periodo de tiempo, teniendo en cuenta que los intervalos de tiempo de cura sean los adecuados para no ocasionar ningún perjuicio al material que está siendo vulcanizado.

Durante la vulcanización del caucho, que generalmente se calienta en presencia de azufre durante un determinado periodo de tiempo, se generan dos fenómenos:

- El primero se da cuando los polímeros lineales paralelos cercanos constituyen entre sí puentes de entrecruzamiento generados por calor, por lo tanto el proceso a de ser controlado para evitar una vulcanización prematura del caucho.
- El segundo fenómeno se genera cuando los átomos de azufre encuentran espacios atractivos a lo largo de la molécula del caucho (estos espacios son llamados sitios de cura). En los sitios de cura los átomos de azufre se unen así mismos hasta formar una cadena que puede alcanzar el sitio de cura de otra molécula.

Ambos fenómenos permiten que el caucho sea más estable, que obtenga una mayor dureza, durabilidad y resistencia al ataque químico sin perder su elasticidad natural. Además el proceso de vulcanización hace del caucho un material termo rígido, ya que no se puede derretir en presencia de calor; es decir el caucho es sometido a un proceso irreversible donde no solamente se puede calentar en presencia de azufre, sino que también en presencia de otros aditivos como carbono, silicio, telurio, selenio y cloruro de azufre en fase líquida o de vapor.

El poder calorífico generado durante la vulcanización se crea mediante fuentes que abarcan desde energía eléctrica por medio de resistencia de calentamiento, inducción y dieléctricos; corrientes de aire caliente o de gases inertes, y finalmente corrientes de agua caliente y vapor.

2.2.2 Fundamentos del proceso.

i. Durante la etapa de vulcanizado.

Como ya se mencionó en el punto anterior, el proceso de vulcanización busca la uniformidad del caucho para poder generar otras propiedades físicas dentro de él. Para tal fin es necesario que se ejerza un control sobre aquellos factores que puede influir en la composición final del producto que se desea vulcanizar.

El primero de los dos factores está relacionado al control de la uniformidad en la calidad de las materias primas y a la incorporación uniforme del azufre y otros aditivos durante las etapas del proceso de vulcanización. El segundo factor consiste en el control de los tiempos, presiones y temperaturas que se utilizan durante las operaciones.

Es importante mencionar que las condiciones pueden variar dependiendo del vulcanizado que se quiera obtener y de los medios con que se cuenta para éste. Dichas condiciones generalmente son especificaciones previas del producto que consisten en determinar la dureza requerida, la cantidad de trabajo que es necesario realizar, el espesor del artículo y el tratamiento de las cargas de caucho después del tratamiento de cura.

Para poder llegar a la uniformidad y especificaciones deseadas para el producto, se hace imprescindible el uso de procedimientos que permitan manejar el aspecto térmico referente al espesor de los artículos de caucho.

Uno de los procedimientos consiste en manejar de forma escalonada las temperaturas. En un inicio se proporciona un calentamiento uniforme a toda la masa del artículo; luego, se eleva la temperatura hasta que esté próxima a la de vulcanización y finalmente, se calienta el caucho hasta alcanzar la temperatura de cura.

El segundo procedimiento consiste en realizar un enfriamiento externo lento (opuesto al procedimiento anterior donde el calentamiento era lento). Para esto se interrumpe el suministro de energía calorífica antes de llegar a la cura del caucho; luego, se sujeta a presión el molde que contiene a la masa, teniendo cuidado en que no existan otros factores (como el viento) que lo puedan enfriar. Finalmente, durante la etapa de sujeción, se introduce la energía calorífica en el seno de la masa del artículo. Este procedimiento de cura se denomina de “absorción”.

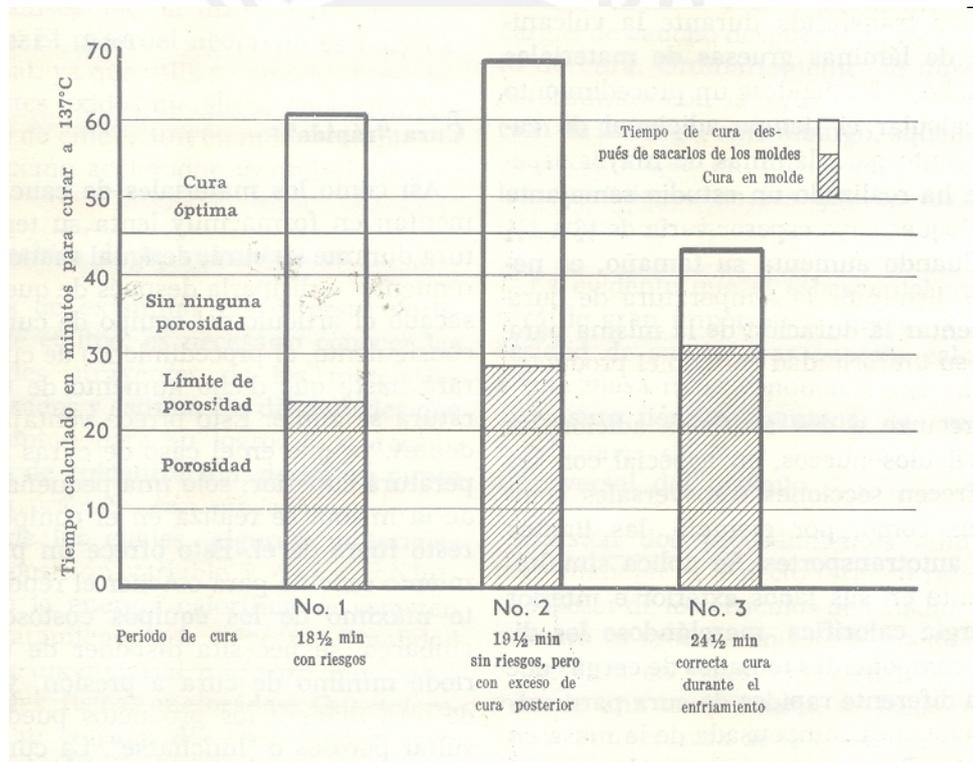
Cabe resaltar que si el tamaño del producto a vulcanizar aumenta, es necesario disminuir la temperatura de cura y aumentar la duración para la misma de modo que se logre una uniformidad en todo el producto.

ii. Después de la etapa de vulcanizado.

Así como el caucho aumenta su temperatura para llegar a un estado de cura, luego de ésta pasa a una etapa de enfriamiento en el cual la vulcanización termina cuando la temperatura de cura se reduce hasta un cierto nivel.

Cuando el caucho es calentado en presencia de azufre u otros acelerantes es recomendable que se disponga de un periodo mínimo de cura, ya que a ciertas temperaturas menores a ésta el producto podría resultar poroso o hincharse. Por eso es adecuado que la temperatura de enfriamiento llegue a ser igual a la de ambiente, la cual a su vez debe ser mayor a las temperaturas causantes de las porosidades en el caucho resultante del proceso de vulcanización.

A continuación se presenta el **Gráfico 2.2** en donde se muestra las consecuencias de cura en la misma clase de artículos, empleando tres periodos diferentes de moldeo.



Gráfica 2.3. Consecuencias de cura empleando tres periodos diferentes de moldeo para un mismo artículo.

Fuente: Friedenthal, E. (setiembre 1993). *Curso de capacitación Industria y Tecnología del caucho*, Universidad de Lima, pp. 978, Lima.

En el primero, se ha pasado por escaso margen el límite que determina la condición porosa antes de sacarlos de los moldes, no obstante la temperatura de enfriamiento normal hasta la temperatura ambiente ha sobrepasado el límite de porosidad y se encuentra en estado de sobrecura. Para el segundo caso, si bien es cierto se elimina la condición porosa, se ha llegado a un estado de sobrecura debido a un

calentamiento excesivo. Por último, en el tercer caso, la temperatura es mayor a la de porosidad y se encuentra en un estado de cura óptimo.

Esta claro que de acuerdo al gráfico, las mejores curas se dan cuando los productos se obtienen con temperaturas menores y con periodos más prolongados de vulcanización.

Los periodos mínimos de cura son determinados por dos aspectos importantes, el primero de ellos es la temperatura máxima a la cual puede estar expuesto el caucho (150 °C para el caucho natural) y el segundo aspecto esta determinado por las operaciones previas a las que son sometidos los artículos de caucho antes del vulcanizado. Las temperaturas a las que es sometido el caucho es un factor relevante en el resultado del proceso de cura, ya que al producto no se le puede inspeccionar mientras se está vulcanizando. Por lo tanto, tener un control sobre la temperatura ayudará a obtener un producto acorde con las propiedades deseadas.

iii. Causas que generan un mal registro de temperaturas.

A continuación se mencionarán algunas causas que ocasionan inadecuados controles de temperatura y que por lo general hacen obtener productos defectuosos:

- Fallas en las calderas.
- Alargamientos innecesarios a las tuberías de vapor.
- Tuberías de vapor obstruidas por presencia de agua, esto ocasiona que las relaciones directas entre la temperatura y la presión cambien debido a que el vapor contenido en la tubería no está seco. La temperatura determina la rapidez de cura y debe medirse y controlarse durante la vulcanización.
- Mala colocación de los indicadores de presión y temperatura. En los casos que el vapor recorre distancias apreciables puede producirse una disminución de la temperatura, la cual varía de la originalmente pensada para el proceso de cura. Esto se debe a que las tuberías carecen de aislamiento térmico y para compensar esta pérdida de energía calorífica, es recomendable usar el vapor con algunos grados más de recalentamiento y reducir al mínimo la condensación antes de que el vapor llegue al dispositivo de vulcanización.
- Moldes sucios que impiden un contacto adecuado con la superficie de caucho. La energía calorífica transferida por conducción no sería la esperada.

- Disposición, en paralelo o serie, de las tuberías de vapor. Las tuberías colocadas en serie producen mayor diferencia de temperaturas entre sus puntos de entradas y salidas. La uniformidad de la temperatura es más adecuada disponiendo paralelamente a las tuberías, pero puede que se tenga una circulación deficiente debido a una deficiencia en las líneas. Cuando se tiene un alargamiento excesivo de las tuberías de vapor se producen pérdidas de energía calorífica, y cuando son muy cortas la circulación de vapor se hace lenta.

2.2.3 Cura óptima.

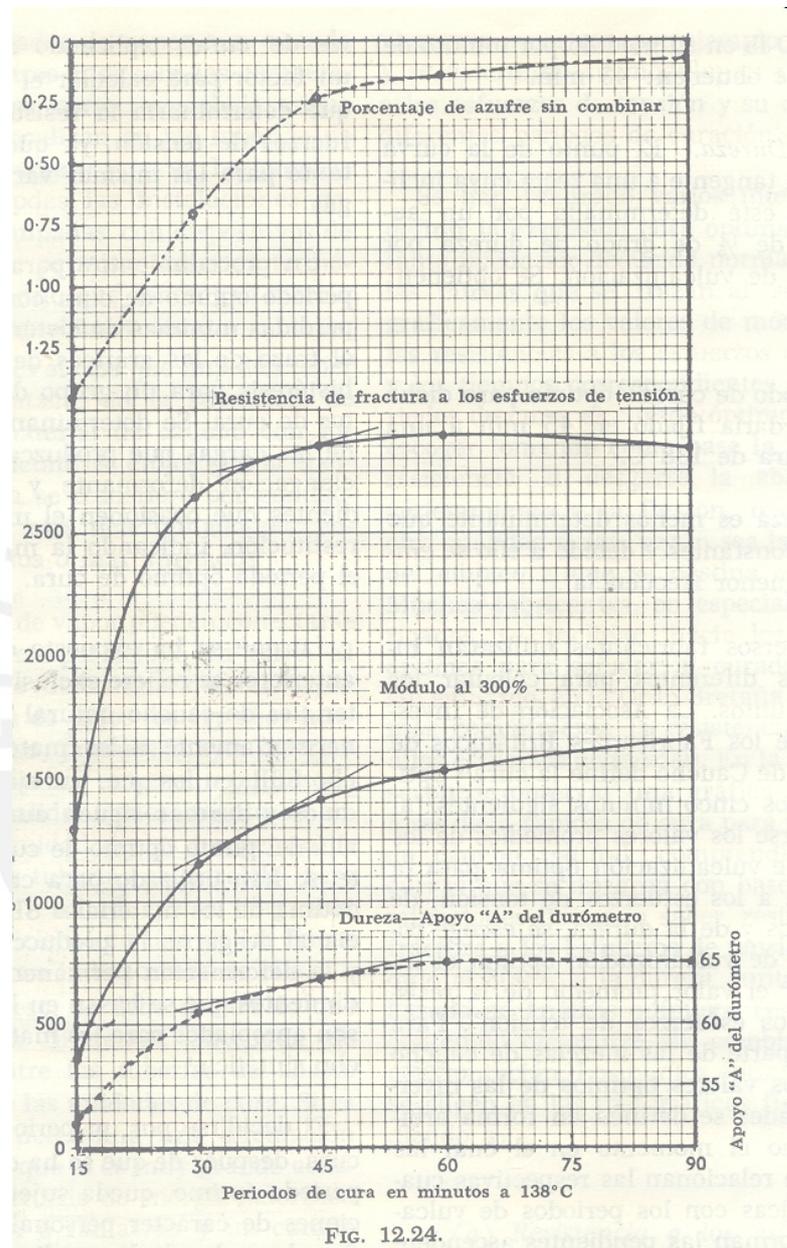
La curado óptimo del caucho se puede escoger tomando como base propiedades adecuadas para el uso que se le quiera dar, por ejemplo: la dureza, la resistencia al desgarre, la abrasión, el agrietamiento a la flexión y otras propiedades. Además se debe tener en cuenta la vulcanización probable que experimenten los artículos cuando estén en servicio, especialmente cuando estén sometidos a calentamientos ocasionados por rozamientos internos.

En la **Gráfica 2.4** se puede observar valores para la rapidez de cura (a 138 °C) para materiales de caucho natural comprendiendo tres aspectos de análisis: resistencia de fractura a los esfuerzos de tensión, el módulo al 300% y la dureza. Adicionalmente, en la gráfica se muestra una curva basada en el contenido de azufre sin combinar, la cual servirá de comparación con las demás curvas ya mencionadas.

Los puntos óptimos escogidos de la **Gráfica 2.4**, están definidos de la siguiente manera:

- a) Módulos.- se escoge el punto de la curva que esta definida como la tangente a una recta cuya inclinación esté determinada por un aumento de 20 lb en su módulo por minuto de cura. Se obtiene: 43 minutos.
- b) Resistencia a los esfuerzos de tensión.- el punto de la curva que sea tangente a una recta cuya inclinación está determinada por un aumento de 10 lb en su resistencia a los esfuerzos de tensión por minuto de cura. Se obtiene: 46 minutos.

- c) Dureza.- el punto de la curva que sea tangente a una recta cuya inclinación esté determinada por un aumento de 1/5 de grado de dureza por minuto de vulcanización. Se obtiene 48 minutos.



Gráfica 2.4. Valores para la rapidez de cura para materiales de caucho natural.

Fuente: Friedenthal, E. (setiembre 1993). *Curso de capacitación Industria y Tecnología del caucho*, Universidad de Lima, pp. 982, Lima.

Con estos tres puntos de referencia se concluye el periodo de curado óptimo para la carga analizada sería de 45 minutos a una temperatura de 138 °C.

Para la mayor parte de las mezclas **de caucho natural** los puntos de análisis quedan definidos cuando las curvas que relacionan las respectivas cualidades

físicas forman las siguientes pendientes ascendentes con los periodos de vulcanización:

- Resistencia a los esfuerzos de tensión: 6 lb/m²/min.
- Módulo: 8 ½ lb/ plg 2/ min.
- Dureza: 1/6 B.S min.

Lo mencionado anteriormente no se aplica a los materiales de caucho SBR debido a que sus módulos y durezas siguen aumentando más allá del punto óptimo de cura.

2.2.4 Control del proceso.

El control del proceso de vulcanización puede realizarse a través de los siguientes ensayos:

- a) Determinación de la dureza.- las lecturas que se pueda obtener de los durómetros son veraces cuando el caucho ya está enfriado, lo que significa esperar de 4 a 24 horas después de haber sido vulcanizado.
La medición de la dureza se puede realizar en el caucho caliente, pero puede determinar el rechazo del artículo examinado que en frío, puede ser aceptado. Es recomendable que las mediciones en caucho caliente siempre se realicen a la misma temperatura, por ejemplo puede hacerse después de que se saquen los moldes.
- b) La comparación de pares térmicos entre la superficie del caucho que está siendo vulcanizado, el interior del mismo y las partes internas de autoclaves y prensas que influyen en el proceso, nos dan una idea de la uniformidad del proceso. Para esto las partes de las prensas y autoclaves deben de ser revisadas continuamente para comprobar la uniformidad térmica en su interior.
- c) Ensayos que determinen la fuerza de adhesión entre las superficies de contacto de la porción de caucho y la del material que no es caucho (por ejemplo el material de los moldes metálicos).

- d) Análisis químicos que determinen el contenido de azufre sin combinar proporcionan uno de los procedimientos más usados para determinar el grado de cura del caucho.

2.3 VALIDACIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE VULCANIZACIÓN

La validación es la verificación del resultado final de un proceso, en el cual no se puede ver, a simple vista, la transformación de la materia prima que formó parte de sus operaciones. Es así que la validación del proceso de caucho consiste en analizar y verificar los resultados de la vulcanización, para el cual no se puede observar directamente la transformación del caucho por intermedio de la transferencia de calor. Lo que sí es posible es medir, acorde a algún tipo de ensayo y diseño de experimentos, las propiedades del producto e ir haciendo algunos cambios pequeños, pero significativos para los principales factores que forman parte del procesamiento del caucho.

Para la presente proyecto de mejora, el tipo de ensayo a realizar será el de dureza, en base al cual, como bien ya se ha mencionado, examinaremos el proceso y sacaremos las conclusiones pertinentes al respecto.

2.3.1 Ensayos de Dureza

El ensayo de dureza a realizar corresponde al Método Estándar de Prueba para las Propiedades del Caucho, la cual pertenece específicamente a la Norma ASTM D 2240- 03 (**anexo 4**).

El propósito de este ensayo será el de poder medir la dureza basada en la penetración de un indente de un tipo determinado sobre las muestras de caucho a analizar. Teóricamente, los resultados de la dureza de indentación deberán ser inversamente proporcionales a la hendidura realizada y directamente proporcional al módulo de elasticidad y a la viscosidad del material. Es importante mencionar que los resultados de este ensayo dependerán en gran medida de la geometría del indente y la fuerza aplicada sobre el material objeto de análisis; sin embargo, no existe una relación entre los valores de dureza determinados por diferentes durómetros sobre un mismo material. Las unidades de dureza a utilizar en los ensayos será la de Shore A.

i. Características de la muestra.

Las muestras a obtener para este tipo de análisis serán unos cuadrados de aproximadamente 10 cm de lado con un espesor de 10 mm, las cuales deberán tener unas superficies totalmente lisas para poder obtener unos resultados más precisos al momento de realizar las indentaciones. Asimismo, la obtención de las probetas serán realizadas a través de una matriz de Acero A36 de medidas interiores iguales a las de la muestra, utilizando para éstas aproximadamente 3 Kg. de caucho. En las **Figura 2.2. y 2.3** se puede apreciar la matriz y la forma de las probetas de caucho a utilizar en los ensayos de dureza.



Figura 2.2. Probeta y matriz a usar para el Diseño de Experimentos EVOP Simplex.
Fuente: La Empresa "E".



Figura 2.3. Probeta dentro de la matriz a usar para el Diseño de Experimentos EVOP Simplex.
Fuente: La Empresa "E".

2.4 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Para realizar un estudio más profundo sobre los factores relevantes que influyen en el proceso del proceso de vulcanización, se utilizará el método de diseño de experimentos que ayudará a medir la influencia de ciertas variables y sus respectivas combinaciones en el resultado final del proceso de vulcanización.

El diseño de experimentos escogido se denomina Operación Evolutiva (**EVOP**) y consiste en hacer pequeños cambios en los factores relevantes que influyen sobre las operaciones, de modo que se vaya monitoreando y a la vez mejorando el proceso de producción (se busca el valor o atributo óptimo para el resultado del proceso por cada cambio que se vaya realizando).

En cada cambio realizado no se perturbará en gran manera la calidad del producto, el proceso de producción, ni ninguna otra característica del proceso; más bien se contribuirá a analizar y mejorar el proceso productivo en base a los principales factores y sus respectivos niveles que se vayan hallando a medida que se aplica la metodología del diseño de experimentos.

Para la realización de la EVOP es necesario seguir los siguientes pasos, según Montgomery D. (2002):

- i) Analizar y determinar cuáles pueden ser las variables o factores relevantes para el proceso.
- ii) Se recolectan datos de los factores de interés en cada punto del diseño (se recomienda usar un diseño de dos o tres factores). Cada vez que se recolectan datos para cada punto del diseño, se va cumpliendo un ciclo.
- iii) Durante la etapa de producción se irán variando los niveles para cada factor relevante escogido, esto permitirá ir modificando un punto óptimo para el resultado que se quiere analizar sobre el proceso.
- iv) Se calcularán los efectos de cada variable y sus interacciones hasta que el efecto de una o más variables del proceso, sobre la respuesta o característica analizada, sea significativa. Cuando se ha detectado un efecto significativo de cada variable o sus respectivas interacciones se dice que se ha terminado una fase.

El grado de influencia o significación de los factores sobre el proceso se medirá a través de una comparación entre el resultado de los efectos y sus respectivos errores experimentales (ambos producto de los datos recolectados).

Si el efecto de una variable independiente o de una interacción analizada es menor al error estimado respectivo, es probable que dicho efecto o interacción de factores no tengan ninguna influencia sobre la variable dependiente (como variable independiente principal para el proceso de vulcanización se podría considerar a la temperatura, mientras que como una variable dependiente se podría considerar a la dureza resultante del caucho vulcanizado). Caso contrario, el efecto del factor o de la interacción será significativo.

2.4.1 Justificación de la aplicación del método EVOP.

El diseño de experimentos aplicando el método de Operación Evolutiva fue escogido para la aplicación y análisis en el proceso de vulcanización debido a que nos da la posibilidad de monitorear y mejorar el proceso **durante** el desarrollo del mismo, permitiendo la creación de nuevos niveles por factor y la optimización del proceso de producción.

Como ya se mencionó en el punto anterior, a través de cambios pequeños en los niveles de los factores se podrá reconocer las variaciones en un factor dependiente en el tiempo que se está realizando el proceso. Esto nos permitirá reducir los tiempos y costos de análisis que se hubiesen determinado con la aplicación del método de diseño de experimentos factorial, para el cual los niveles por factor son determinados previos a la aplicación, y por tanto no constituye una optimización del proceso productivo del caucho, mas bien pueden generar costos innecesarios de materia prima y un producto mal fabricado.

En los próximos capítulos se detallará información sobre el proceso, donde se determinarán a través de una aplicación del método de Operación Evolutiva, los factores relevantes y su grado de influencia durante la vulcanización del caucho.

2.5 SEIS SIGMA.

2.5.1 Significado.

Es una medida de la variabilidad de un proceso en el cual se define cuanto de lo productos o servicios caen dentro de las especificaciones deseadas.

Seis Sigma representa un procedimiento que ayuda a medir y mejorar continuamente los costos y el desempeño de un proceso con respecto al nivel de productos o servicios que se encuentran fuera de especificación, incrementando así la satisfacción del consumidor. Para esto basa su aplicación en el uso de herramientas estadísticas y utiliza como guía lógica al Ciclo de Deming.

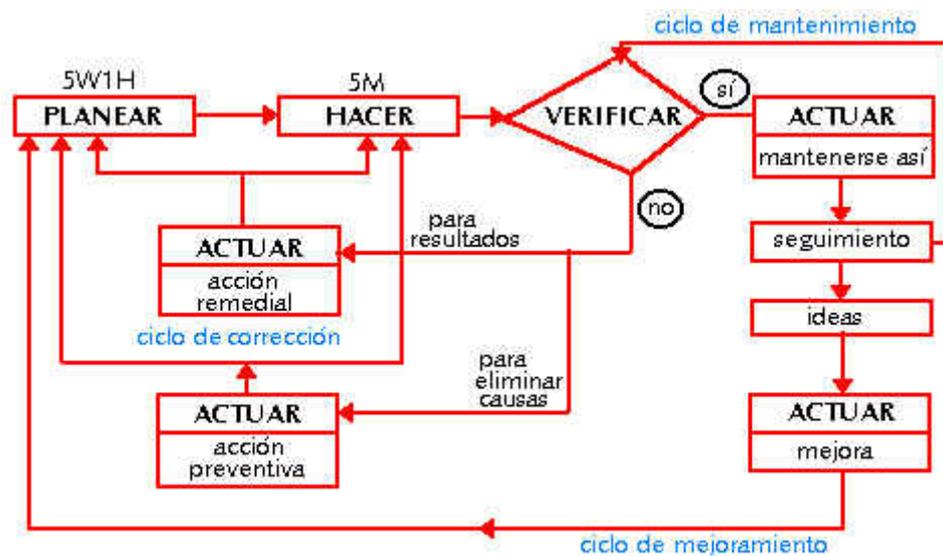


Figura 2.4. Ciclo de Deming detallado.

Fuente: <http://www.geocities.com/wallstreet/exchange/9158/pdca.htm>. Acceso en: 14 noviembre 2006.

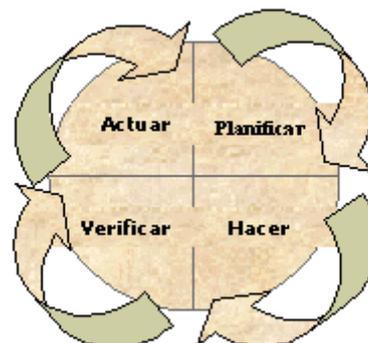


Figura 2.5. Ciclo de Deming.

Fuente: <http://www.ulpgc.es/index.php?pagina=gerencia&ver=planalidad>. Acceso en: 14 noviembre 2006.

El objetivo principal de la aplicación Seis Sigma es tener, estadísticamente, un número de productos o servicios defectuosos. Es decir; que el proceso este centrado, que tenga como mínimo 0.00189 ppm (defectos por millón de oportunidades) y como máximo 3.4 ppm y finalmente, un proceso con un descentrado de 1.5σ .

Para entender mejor lo expuesto anteriormente, en la siguientes gráfica y tabla se presenta la variabilidad máxima a la que pueda llegar un proceso a través del uso del Seis Sigma.

2.5.2 Desarrollo de la metodología.

Como mencionamos anteriormente, la metodología Seis Sigma se basa en la aplicación del Ciclo de Deming dentro del cual subdivide algunos aspectos en fases para tener un mejor análisis del proceso y posteriormente darle una mejora. Las fases son las siguientes:

1. **Planear:** etapa en la cual se describe el proceso de mejora que se quiere obtener a través de la definición de sus variables, dando a conocer el desarrollo del proceso y la clasificación de los inputs y outputs que lo conforman.
2. **Hacer:** en esta parte se evalúan los sistemas de medición a través de análisis de repetibilidad, reproducibilidad, exactitud, etc. Dicho análisis requiere de la determinación de variables relevantes al proceso, para que posteriormente se pueda medir la capacidad del mismo y se pueda optimizar mediante la reducción de la variabilidad.
3. **verificar:** Consiste en dar validez a la mejora realizada:
4. **Actuar:** Es controlar y dar seguimiento al proceso, mediante la verificación de la capacidad del mismo en cumplir las diferentes especificaciones que forman parte de sus características.

Con el Ciclo de Deming y las subdivisiones presentadas en los párrafos anteriores, la metodología Seis Sigma se presenta a través de la aplicación del método **DMAIC**, el cual se constituye de la siguiente manera:

1. **Definir:** el cual está conformado por la definición del problema o selección del proceso de mejora
2. **Medir:** conformado por la descripción, definición y medición del proceso.
3. **Analizar:** se determina las causas de los defectos presentados. Está determinado por las variables significativas y la capacidad del proceso.
4. **Mejorar:** eliminar los defectos del proceso a través de una optimización y mejora del mismo.
5. **Controlar:** aplicación de la mejora continua en el proceso.

En los siguientes capítulos se aplicará dicha metodología al proceso de caucho que se realiza en la empresa objeto de la presente tesis. A medida que se va desarrollando cada capítulo, se dará a conocer los problemas del proceso, la descripción del mismo y todo aquello que sea necesario para la mejora del proceso de caucho a través de la metodología Seis Sigma.



CAPÍTULO 3: DIAGNÓSTICO DEL PROCESAMIENTO DEL CAUCHO EN LA EMPRESA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESAMIENTO DEL CAUCHO EN LA EMPRESA.

El procesamiento del caucho es muy relevante dentro de la producción total realizada en la Empresa “E” ya que el 98% de sus productos son fabricados en base a este material, el cual es colocado como un forro interior (la parte exterior es de acero) dentro de los productos fabricados. Este forro interior de caucho permite que el mineral que ingresa dentro del producto no cause daños a la parte exterior del mismo, además resiste por mucho tiempo a la abrasión de los minerales que ingresan a una presión y velocidad considerables dentro de los equipos fabricados (bombas e hidrociclones por ejemplo).

El caucho procesado dentro de la Empresa “E” tiene las siguientes operaciones:

Operación 1.- el caucho natural es recepcionado en paquetes de 50 Kg., pero para poder laminar con facilidad se utiliza 16.25 Kg. por plancha.

Operación 2.- se prepara la mezcla química denominada F- 100 en base a los insumos que serán esparcidos en el caucho durante la laminación. Dichos insumos, de acuerdo a sus propiedades, son ingresados en orden, de modo que permita al caucho adquirir dureza, elasticidad, cierto grado de vulcanización, etc.

A continuación se detallará características especiales para la vulcanización de cada uno de los insumos que forman parte del proceso, con el fin de tener una mejor comprensión del mismo:

- **TMQ y Flexone:** estos insumos brindan una adecuada protección contra la oxidación, contra los tóxicos del caucho y mantienen en buen estado al producto a temperatura ambiente, evitando así la rajadura del mismo.
- **Óxido de Zinc:** Es un compuesto químico de color blanco que tiene alta capacidad calorífica y sirve como un acelerador para el vulcanizado del caucho.

- **Ácido esteárico:** Es un aditivo de procesamiento que actúa más como lubricante que como homogeneizante de los compuestos inmersos en la etapa de mezclado. Principalmente mejora el flujo, la procesabilidad y el curado de los compuestos de caucho y reduce la pegajosidad de los mismos, permitiendo una mejor deformación del caucho procesado. Finalmente, ayuda a un mejor relleno sobre los moldes que serán utilizados para el vulcanizado, a través de la disminución de la tendencia de adhesión hacia éstos.
- **Pigmento Azul:** Es un insumo que es usado solo con fines de dar color a las planchas de caucho que saldrán del proceso de molienda.
- **Struktol WB16:** Considerado más como un homogeneizante que como lubricante, está constituido por una mezcla de jabones ácidos grasos (predominantemente de calcio) que se utiliza para mejorar las propiedades de flujo del compuesto en bruto. Es decir, ayuda a la disminución de la viscosidad y de la fricción por deslizamiento a superficies metálicas del compuesto. Asimismo, mejora el desmoldeo en moldes de complicado diseño y tiene un efecto sobre la vulcanización de una mezcla que contiene azufre.
Tiene dos presentaciones principales, las cuales son en pastilla y en polvo. Generalmente la más usada para el proceso de vulcanización es la de polvo ya que se le puede agregar a la mezcla durante cualquier etapa de la misma. Sin embargo, para que el efecto desmoldante sea el óptimo, se recomienda agregarlo durante la etapa final de la mezcla.
- **Rubbersil:** es un compuesto químico que se le agrega a la mezcla de insumos químicos y caucho que está siendo molido, con el fin de aumentar la resistencia a la abrasión del caucho vulcanizado. Es una carga reforzante.
- **Aceite Mineral:** es un agente plastificante y al igual que el ácido esteárico ayuda a realizar un mejor relleno del caucho sobre los moldes. También tiene una baja resistencia a la abrasión cuando se trabaja con cantidades considerables de caucho.

- **Acelerantes:**

- **Azufre.**- la presentación de este insumo es en sacos de papel multipliego que contienen 50 kg de azufre en polvo. El efecto principal del azufre en el proceso de vulcanización es que acelera la cura del caucho procesado, por eso es muy importante tener una dosis específica de este elemento químico ya que si se le agrega a la mezcla una mayor cantidad a la necesaria, el caucho se vulcanizaría prontamente y ya no serviría para operaciones posteriores a la de la mezclado y molienda.

- **MBTS (Disulfuro de benzotiacilo).**- insumo químico que acelera la reacción entre el caucho y el azufre permitiendo reducir el tiempo de vulcanización.

- **DPG.**- el nombre químico de este elemento es Difenil Guanidina y es aplicable a compuestos de caucho para aminorar en forma moderada el periodo de cura del caucho siempre y cuando este compuesto se use a temperaturas aproximadas a 145 °C. Generalmente el DPG no es usado en artículos de caucho de color claro ya que tiene un efecto de manchamiento sobre el producto que está siendo operado. Adicionalmente, debido a que tiene un tiempo de pre vulcanizado lento, este compuesto puede ser usado en artículos de caucho que tengan paredes gruesas y la dosis que tenga sobre la mezcla que genera propiedades al caucho, esta en función de la cantidad de MBTS y azufre presentes.



Figura 3.1. Insumos para el proceso de vulcanización.

Fuente: La empresa "E".

Operación 3.- El caucho que fue recepcionado es almacenado y luego cortado, en una guillotina, en varios trozos pequeños de modo que complete la cantidad acorde a la mezcla F- 100 ya determinada.



Figura 3.2. Máquina cortadora de caucho.
Fuente: La empresa "E".

Operación 4.- los trozos de caucho son pesados en la balanza hasta llegar a 16.25 Kg. Luego de esto son trasladados hacia la zona de laminado o extrusión.



Figura 3.3. Trozos de caucho para el laminado.
Fuente: La empresa "E".

Operación 5.- el laminado del caucho es realizado por dos cilindros que giran en sentidos opuestos y a velocidades de 22 rpm, dentro de los cuales lo primero que se coloca son los trozos de caucho para que se vaya iniciando el proceso de plastificado a una temperatura de 100 °C. Seguidamente se esparcen los insumos químicos de acuerdo a una secuencia y fórmula establecidos, que provocan en el caucho ciertas efectos como: pre- vulcanización, plasticidad, elasticidad, etc. Cabe resaltar que la temperatura de los cilindros, hasta antes de agregar los acelerantes, se regula mediante refrigeración y es mantenida en aproximadamente 50 °C, cuidando que no se eleve demasiado en ese momento, ya que si se esta laminando a una temperatura mucho mayor a ésta el caucho se pre vulcaniza rápidamente y queda inservible para las próximas operaciones.



Figura 3.4. Extrusión del caucho.

Fuente: La empresa "E".



Figura 3.5. Rodillos del molino de caucho.

Fuente: La empresa "E".

El resultado de la extrusión son planchas de caucho con las propiedades ya indicadas de acuerdo a cada insumo esparcido, cada plancha de caucho es almacenada sobre una mesa rectangular y luego es llevada hacia la zona de vulcanizado de la empresa. Cabe indicar que para cada 16.25 kg de caucho laminado el nivel de pérdida aproximado es de 0.5%; es decir, la plancha resultante de la extrusión, que se utiliza para ya ser vulcanizada (**Figura 3.6**), tiene un peso de 16.1 kg.



Figura 3.6. Plancha de caucho resultante del laminado.

Fuente: La empresa "E".

Operación 6.- previo al vulcanizado del caucho, se realizan ciertas operaciones que consisten en la preparación de las almas metálicas y de las matrices que sirven como moldes para los productos que se quieren obtener mediante el proceso de vulcanización. Estas operaciones son las siguientes:

- Para una adecuada adherencia del caucho al alma metálica o molde, se hecha el pegamento chemlok gris 205 al alma y se espera entre media y una hora hasta que seque.
- Luego, para mejorar dicha adherencia, se agrega chemlok 220 y se vuelve a esperar entre media y una hora para que seque.
- Como siguiente paso, se coge las planchas de caucho para realizarle una limpieza con solvente, ya que durante la espera a ser recogido y usado se impregna polvo y otro tipo de suciedades en su superficie e interior.
- Se trabaja con la matriz y se le hecha un líquido desmoldante, el cual sirve para poder separarla con facilidad del caucho al término del vulcanizado.
- Se corta el caucho y se le adhiere a la matriz. Luego de esto se tapa la matriz con el alma metálica correspondiente y se le ingresa, con ayuda de un pórtilo y pato, a la autoclave o prensa según sea el caso. Se toma bastante cuidado en la colocación de las matrices sobre los platos de las prensas, ya que si los pistones de éstas bajan bruscamente la matriz, las bocinas roscadas de ésta se pueden dañar y así se obtendría un producto final defectuoso. Además se espera durante quince minutos, aproximadamente, a que la matriz se caliente. Es recién en esta etapa donde uno estará seguro que la matriz esta bien colocada en la prensa (se comienza a generar rebarba producto del calor y la presión).

Cuando las bocinas roscadas sobresalen de la superficie de la matriz, lo que se hace es poner unas superficies de aluminio sobre las cuales la prensa posará y se desarrollará el proceso de vulcanización.



Figura 3.7. Preparación previa al vulcanizado: inserción del caucho a la matriz.
Fuente: La empresa “E”.

Operación 7.- se realiza el proceso de vulcanización el cual, como ya se mencionó, consiste en el calentamiento del caucho mediante vapor durante un tiempo determinado. El tiempo de cocción depende del tamaño y espesor de la pieza a obtener, de la geometría de la matriz, de la presión y de la temperatura de vulcanización (aproximadamente 132 °C al inicio de la operación). Para el vulcanizado se proporciona calor mediante el vapor que brinda el caldero, el cual brinda una temperatura de 160 °C en un intervalo de presión que va entre 75 Psi y 85 Psi.

Cuando el proceso de vulcanización está en su etapa intermedia la presión de trabajo sigue estando entre el intervalo indicado anteriormente y la temperatura se encuentra aproximadamente en 145°C en el interior de la matriz y de 150 °C en los platos que conforman la prensa.



*Figura 3.8. Vulcanización del caucho en la prensa.
Fuente: La empresa "E".*

Operación 8.- una vez finalizado el proceso de vulcanizado, se procede a retirar la matriz de la prensa o autoclave, según sea el caso. El retiro de la matriz se realiza a través del pato y pórtico. Luego de retirada la matriz, se espera a su enfriamiento por espacio de una hora aproximadamente. Posteriormente se saca el alma y se deja enfriando al producto final.



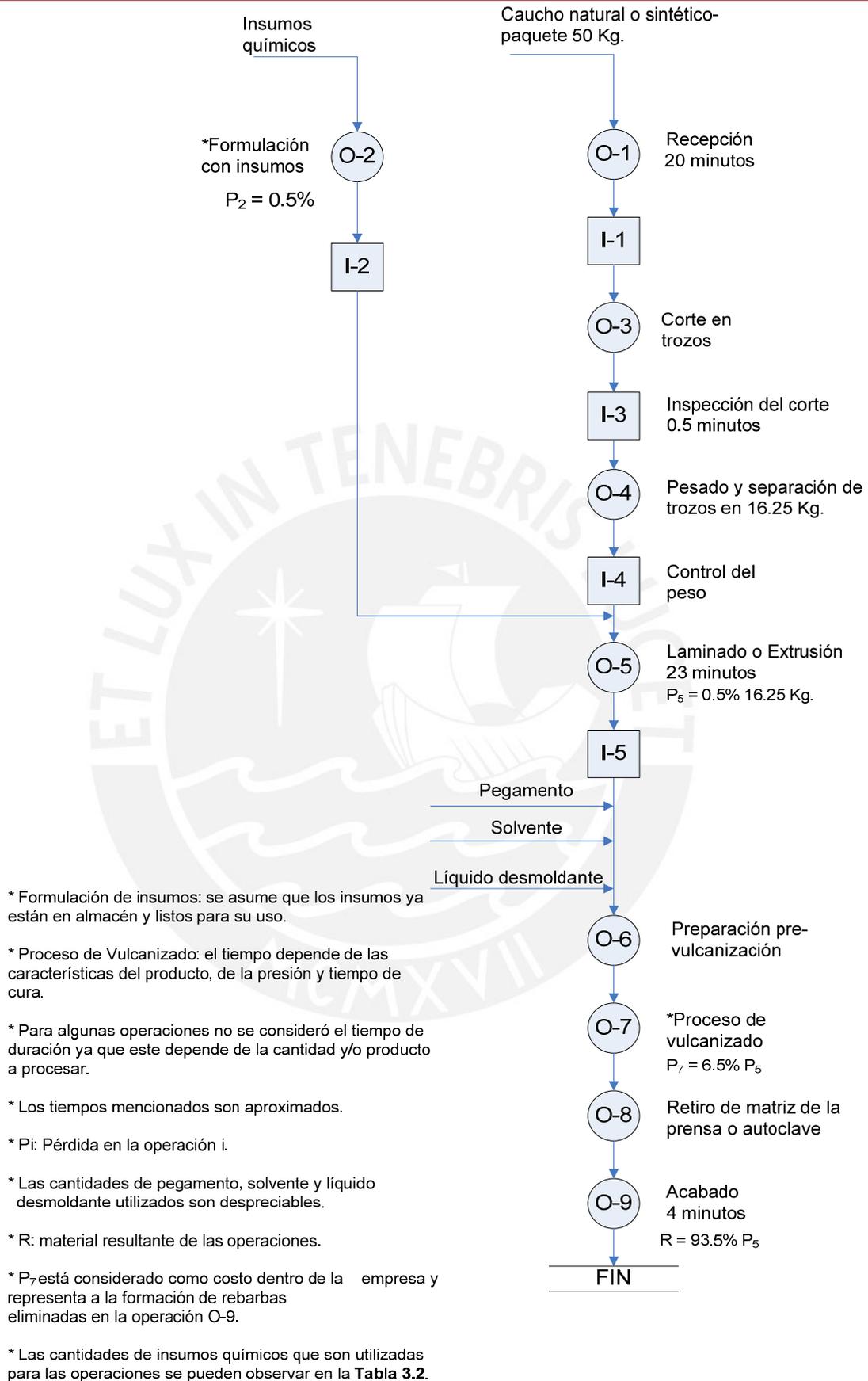
Figura 3.9. Enfriamiento de la matriz.
Fuente: La empresa "E".

Operación 9.- ya enfriado el producto final, se realiza la operación de acabado, la cual consiste en esmerilar y cortar las rebabas generadas durante la vulcanización.



Figura 3.10. Operación de acabado: corte de rebabas.
Fuente: La empresa "E".

En la **gráfica 3.1** se muestra un DOP de las operaciones ya explicadas, con el fin de tener una rápida comprensión del mismo.



Gráfica 3.1. Diagrama de Operaciones del proceso del caucho en la Empresa "E".
Fuente: Elaboración propia.

3.2 MEDICIONES DEL PROCESO EN LA ACTUALIDAD.

La vulcanización es un proceso que requiere de inspecciones y controles a través de su realización y al término de ésta debido a que el caucho resultante debe contar con propiedades y especificaciones exactas que vayan acorde con el uso para las que son fabricados.

Bajo estas consideraciones, de aquí en adelante, se evaluará el proceso tomando como base **la mezcla denominada F- 100**, debido a que es la más usada y la de mayor importancia en la fabricación de los productos principales. Por tanto, será también la que nos servirá para las evaluaciones y conclusiones sobre la validez del proceso del caucho dentro de la empresa.

Actualmente la empresa ha constituido sus puntos de control y medición en operaciones relacionadas a los siguientes puntos:

- **Control de los insumos:** abarca desde la inspección de los insumos que van llegando a la empresa hasta el uso en cantidades adecuadas de éstos en sus respectivas formulaciones. Como ya se mencionó, la mezcla a utilizar en este caso será la F- 100, **más conocida como la de baja dureza.**
- **Temperatura de extrusión:** el caucho que va siendo laminado es tratado en base a insumos que se van agregando y a temperaturas que los rodillos del molino van brindando. Es justamente esta temperatura un aspecto importante de control debido a que un exceso en ella puede causar una errónea y pronta pre vulcanización del caucho al reaccionar con los insumos acelerantes, reacción que haría inservible al caucho para futuras operaciones. Para evitar esto, es necesario regular la temperatura del tanque de agua agregando agua más fría o caliente según convenga, de modo que a los rodillos llegue el líquido a una temperatura ideal.
- **Temperatura, presión y tiempo del vulcanizado:** el vulcanizado que se realizará para evaluar al proceso será hecho dentro de una prensa ya que las características y especificaciones de las futuras muestras así lo permiten. Es bien sabido que durante el prensado se realizará la cura del caucho, la cual dependerá de la presión, temperatura y el tiempo que la muestra o cualquier otro producto permanezca en ella.

Al igual que el punto anterior, una excesiva temperatura y tiempo de cura harán inservible al caucho debido a que tal vez la presión que se pueda ejercer sobre la matriz es demasiada y esto puede ocasionar que se desprenda mucho calor en las superficies de la matriz.

Para facilitar las mediciones de temperaturas se utiliza un láser que permite desde una distancia prudente al proceso sacar datos de la temperatura de trabajo.

- **Producto terminado:** una vez que el producto de caucho ha salido vulcanizado se espera a que se enfríe y desarme para, posteriormente, realizar las mediciones de la pieza y controlar la dureza de la misma. Ésta medición se realiza con el uso del Vernier y wincha, mientras que la dureza se controla a través de un durómetro manual. Las mediciones realizadas son comparadas en base al plano respectivo de la pieza.

Tomando como referencia las probetas obtenidas y según la forma de medición de la dureza que se realiza en la empresa, en promedio el valor de esta propiedad es de **35 Shore A**. Este valor servirá como condición actual para la aplicación del EVOP, el cual será desarrollado y analizado en los próximos puntos de este capítulo.

3.3 APLICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS EVOP.

El Diseño de Experimentos seleccionado para el presente proyecto tiene una aplicación sencilla con los datos que se vayan obteniendo a medida que se van produciendo las probetas necesarias para llegar a una conclusión idónea sobre la validación del proceso de vulcanización. Tomando como referencia al triángulo mostrado en la **Gráfica 3.2**, dicha aplicación consistirá en trazar una bisectriz desde el vértice que dé el menor valor de dureza y hallar un punto que esté a una distancia teóricamente considerable a partir de la intersección del lado opuesto del vértice con la bisectriz.

Los valores de dureza obtenidos serán luego registrados en una tabla en la que se mostrarán las desviaciones de las medidas de dureza realizadas por ciclo. Estas desviaciones nos servirán para determinar si se aceptan o no las durezas obtenidas acorde al siguiente criterio impuesto por la Empresa “E”: “si las desviaciones de las medidas de dureza obtenidos son mayores a 2.5 Shore A, los resultados no serán aceptados debido a una variación excesiva de los mismos”.

Para la realización del EVOP simplex es necesario tomar en cuenta los pasos indicados en el capítulo anterior, los cuales nos servirán de guía para un mejor análisis del diseño de experimentos a realizar. Según la lógica del Six Sigma, la secuencia a realizar es la siguiente:

3.3.1 Elección de factores relevantes al Proceso de Vulcanización.

Existen muchos factores a considerar como relevantes para el proceso de vulcanización descrito anteriormente; sin embargo, no todos son posibles de ser analizados en el diseño de experimentos que se propone debido a que el proceso de producción puede ser afectado considerablemente. A continuación se mencionará todos los factores que pudieron y que pueden ser considerados para el análisis con el método EVOP.

i. Factores no considerados.

- **Temperatura de extrusión o laminado:** La extrusión es la primera etapa en importancia para que el caucho adquiera las propiedades físicas características para el uso en las actividades mineras. Cuando la temperatura de los rodillos no se mantiene en un rango adecuado, el caucho se puede cocer rápidamente convirtiéndose en inservible para las posteriores operaciones. Por ello, la temperatura del rodillo debe establecerse entre 21 °C y 23 °C una vez que se agregan los acelerantes; actualmente esta temperatura se controla mediante el flujo de agua fría y caliente en los rodillos, pero no puede ser variada con facilidad debido a que se debe esperar aproximadamente 10 minutos para que la mezcla de agua llegue a la temperatura que se necesita.

Por tal motivo, en el caso que se considere a la temperatura de extrusión como factor relevante, la variación para cada nivel que se requerirá un tiempo considerablemente grande, en el cual el laminado del caucho se paralizará, no permitiendo el flujo de operaciones adecuado para la fabricación de los productos.

- **Temperatura y presión del vulcanizado:** para que se pueda realizar el vulcanizado del caucho es necesario que el caldero proporcione, a través de una presión adecuada, el vapor necesario para que el plato de la prensa

obtenga la temperatura exacta de vulcanizado. De acuerdo a las operaciones actuales, esta presión y temperatura están controladas para que la vulcanización de los productos sea la adecuada; sin embargo al tratar de establecer un cambio en estos factores para poder mejorar el proceso, se encuentran algunas restricciones como la falta de un regulador de temperatura para poder controlar el nivel de calentamiento del plato de la prensa. El solo hecho de querer realizar un cambio en la temperatura en una prensa, requerirá de una variación en la presión de vapor de las demás prensas y autoclaves para el vulcanizado, afectando así a la producción.

En conclusión, para poder hacer el diseño de experimentos acorde a cada nivel de temperatura, se necesitará variar la presión y también se requerirá de una para en la producción, de modo que no se afecte a los productos que están siendo vulcanizados en prensas y autoclaves distintas a la de donde se está realizando el EVOP.

ii. Factores considerados.

Los factores que han sido considerados para el análisis con el método EVOP, forman parte de la etapa de preparación de insumos químicos previa a la extrusión del caucho. Se han escogido como relevantes para el proceso de vulcanización debido a que son los que proporcionarán, a través de las mezclas en la operación molienda y la posterior cocción del caucho, las propiedades necesarias para que el polímero sea de gran utilidad cuando entre en contacto con los minerales. Como ya se explicó en el capítulo anterior, muchos de estos insumos servirán para que el caucho adquiera adecuadas características tensiles, de dureza, resistencia a la abrasión, buena lubricación de insumos y finalmente, una adecuada cocción a través del tiempo de vulcanización.

En la **Tabla 3.1** se muestra a la lista de factores y sus respectivas combinaciones a considerar para el análisis en el Diseño de Experimentos aplicando el método Evolución Operativa.

iii. Combinación de factores.

Para poder realizar la combinación de factores se tuvo que agruparlos acorde a sus propiedades o características influyentes sobre el producto final. De acuerdo a esto, como se muestra en la **Tabla 3.1**, los grupos fueron: acelerantes, lubricantes, abrasión- dureza y tiempo de vulcanizado.

Lista de Factores a considerar	Combinaciones								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acelerantes									
Azufre	x				x				
DPG		x				x			
MBTS									
Negro de humo									
Lubricantes									
WB16	x		x					x	
Ácido esteárico		x		x					x
Aceite mineral									
Abrasión- Dureza									
Rubbersil							x	x	x
Tiempo de vulcanizado			x	x	x	x	x		

Tabla 3.1. Factores y sus respectivas combinaciones para la realización del EVOP Simplex.

Fuente: Elaboración propia.

Cada combinación de grupos fue hecha aplicando criterios teóricos sobre cada tipo de insumos explicados anteriormente, enseguida se muestra con más detalle las razones para cada combinación:

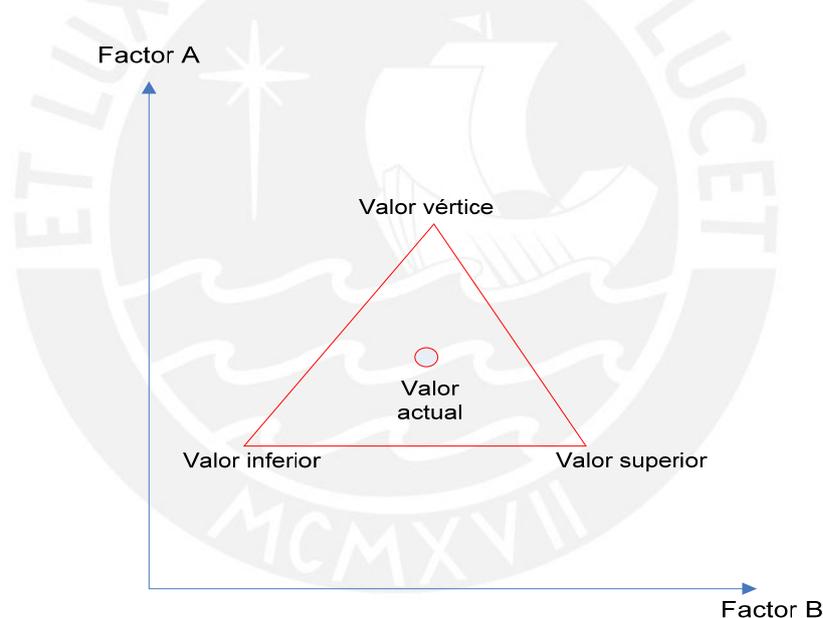
- **Acelerante- Lubricantes:** Con esta combinación se tratará de identificar la influencia de la variación del flujo de los insumos mezclados, poniendo especial atención al nivel de lubricación de los acelerantes y el efecto que pueda tener esto sobre el producto final.
- **Lubricante- Tiempo de vulcanizado:** se analizará si una mayor variación del flujo de mezcla de insumos contribuirá a la reducción del tiempo de cura del caucho, teniendo en cuenta que, al cumplimiento de este tiempo, el caucho vulcanizado deberá tener adecuadas propiedades para su uso.
- **Acelerante- Tiempo de vulcanizado:** se busca identificar si la variación de una cantidad de acelerante de acuerdo a fórmula, influirá sobre el tiempo de cura del caucho. Para esto se debe tener en cuenta que un exceso de acelerante puede dañar al caucho como producto semi terminado, haciéndolo inservible para posteriores operaciones a la molienda.
- **Abrasión- Dureza- Tiempo de vulcanizado:** el objetivo de esta combinación es la de medir en que tanto puede influir sobre el tiempo de

cura, la variación de las cantidades de Rubbersil sobre la muestra. El principal motivo de este análisis es ver si la dureza del caucho aumenta al variar las cantidades del insumo antes mencionado.

- **Abrasión- Dureza- Lubricantes:** el análisis del grado de influencia de la lubricación del Rubbersil sobre las propiedades de abrasión y dureza será muy importante para poder descubrir si se puede mejorar, significativamente o no, las propiedades antes mencionadas del caucho vulcanizado.

iv. Determinación de niveles por factor.

De acuerdo a los factores elegidos para la realización del diseño de experimentos, los niveles (valores) de cada uno de éstos han sido clasificados de la siguiente manera:



Gráfica 3.2. Esquema de valores para el análisis del EVOP simplex.

Fuente: Elaboración propia.

- **Valor actual:** son los valores que la empresa aplica a su formulación en la actualidad.
- **Valor inferior:** corresponde a los menores valores de cada factor. Al momento de combinar los menores valores de dos factores dará como resultado el punto extremo inferior de la **Gráfica EVOP simplex**.

- **Valor superior:** es la intersección del mayor valor de uno de los factores y el menor del otro, la combinación de éstos dará como resultado el punto extremo superior de la **Gráfica EVOP simplex**.
- **Valor vértice:** como se trata de un diseño EVOP simplex, los puntos a obtener son cuatro, considerando como central a los de valor actual y los demás puntos son los que forman el triángulo característico de este método. En tal sentido, el valor que se describe como vértice es aquel que está formado por el valor máximo de un factor con el valor mínimo del otro, donde éste último no necesariamente será diferente al menor valor descrito que forma el Valor superior.

En la **Tabla 3.2** se especifican solo los valores actuales con los cuales se comenzará a calcular, más adelante, los respectivos valores superior, inferior y vértice para cada uno de los factores que formarán parte del análisis de Diseño de Experimentos EVOP Simplex. Es importante mencionar que los valores vértice presentados en esta tabla son referenciales debido a la descripción que se menciona sobre este punto en el párrafo anterior.

Cabe resaltar que estos niveles iniciales (inferior, superior y vértice) serán calculados desde -10% hasta +25% sobre la cantidad actual de cada insumo que se necesita para 3 Kg. de caucho y para el caso del tiempo de vulcanizado la variación será de 20 ± 5 minutos. Es necesario considerar este rango debido a que con estas variaciones aseguramos que las cantidades de los insumos no sean ni tan insignificantes y ni tan excesivas para la cantidad de caucho a utilizar por probeta. Además, los valores vértice de cada insumo solo podrán ser iguales al valor inferior o bien al superior, la elección de esto dependerá de la combinación que se está analizando, de modo que el triángulo que se forme sea el de **mayor área posible** porque de esta forma se tendrán mas opciones de optimizar el diseño de experimentos, según se vaya hallando cada valor por ciclo para cada una de las combinaciones de insumos químicos. Todos los valores presentados en la tabla siguiente han sido redondeados porque la balanza utilizada en la Empresa "E" tiene una **variabilidad de a un gramo**.

Cantidad actual de cada insumo a utilizar por probeta		
Componente	Valor actual	Unidad de medida
Caucho natural	5	Kg
Pigmento azul	14	Gr
TMQ	45	Gr
Óxido de Zinc	225	Gr
Ácido Esteárico	68	Gr
Prozone	45	Gr
Rubbersil	416	Gr
Plastificante	90	ml
WB16	90	Gr
Azufre	23	Gr
MBTS	71	Gr
DPG	20	Gr

Tabla 3.2. Valores actuales para la realización del Diseño de Experimentos EVOP Simplex.

Fuente: Elaboración propia.

v. Formato para la toma de datos y cálculos.

Según la metodología aplicada en Artiles, N. (1999) para la consecución del EVOP Simplex, el formato de datos y cálculos para cada nivel de los factores a considerar será el que se representa en la **Tabla 3.3.**

Ensayo de Dureza N° Norma de referencia Fecha de Ensayo Ciclo N°												
		Niveles		Valores de Dureza								
		Azufre	WB16	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5	Promedio	StdDev		
Current Simplex												
		Azufre	WB16	AVG						Overall StdDev		
Best											StdError de la media	
Worst											LSD (alpha = 0.1)	
Middle											Diferencia	
Delta												
		Azufre	WB16	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5	Promedio	StdDev		
Trial(0.5)												
Trial(1.0)												
Trial(1.5)												
Trial	Factor A	Factor B	Promedio									
Best				0								
Worst				0								

Tabla 3.3. Formato para la toma de datos y cálculos.

Fuente: Artiles, N. (1999). *Advanced Industrial Experimentation*. Manuscrito no publicado, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez.

vi. Ejemplo de aplicación.

Acorde a la metodología mencionada en el primer párrafo del acápite 3.3, se mostrará a continuación un ejemplo de aplicación para los resultados obtenidos en la combinación WB16 Vs. Rubbersil. Cabe resaltar que es importante ir observando la **Gráfica 3.3** a medida que se va explicando cada tabla de resultados por ciclo

Primer paso: Obtención de resultados de dureza Shore A correspondientes al ciclo 1. En este paso se forman los puntos 1, 2 y 3 que corresponden al primer triángulo formado en base a la combinación especificada líneas arriba.

Segundo paso: A cada uno de los tres puntos formados se le asignan los valores de dureza (acorde a los resultados de la tabla) que le correspondan según la intersección de niveles por cada factor considerado. Así, en la gráfica adjunta se muestran al punto 1, 2 y 3 con 34.8, 36.2 y 34.8 Shore A, respectivamente.

EVOP WB16 vs. RUBBERSIL									
Ensayo de Dureza Nº	7, 8, 9 y 30								
Norma de referencia	ASTM D 2240								
Fecha de Ensayo	29/05/2008 - 06/06/2008								
Ciclo Nº	1								
	Niveles		Valores de Dureza						
	WB16	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Current	54	249	35	35	34	36	34	34.8	0.837
Simplex	75	346	37	36	36	36	36	36.2	0.447
	75	249	36	36	34	34	34	34.8	1.095
	WB16	Rubbersil	AVG					Overall StdDev	0.837
Best	75	346	36.2					StdError de la media	0.483
	75	249	34.8						
Worst	54	249	34.8						
Middle	75	297.5	-					Diferencia	1.4
Delta	21	48.5	-						
	WB16	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	31.85	292.15	36	35	36	34	34	35	1.00

Tabla 3.4. Registro de datos y cálculos EVOP WB16 Vs. Rubbersil correspondiente al Ciclo 1.

Fuente: Artilles, N. (1999). *Advanced Industrial Experimentation*. Manuscrito no publicado, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez.

Tercer paso: Se escoge al menor valor de dureza obtenido y desde el vértice que formó este valor se traza una bisectriz que intersecte al lado opuesto. En caso existan dos valores menores iguales, se escoge a cualquiera de ellos para realizar el trazo de la bisectriz. Para el caso del ejemplo, se trazó desde el vértice 3 una bisectriz que corta a la recta 12.

Cuarto paso: desde la intersección que forma la bisectriz con el lado opuesto a la misma, se considera a criterio una distancia “Trial (x)” para poder encontrar el punto 4, el cual determina una nueva combinación de niveles por factor y un nuevo resultado de dureza. Para la combinación que se está explicando, la distancia escogida fue de 1.5 veces, trial (1.5), a la distancia de la recta formada por el punto 3 con el punto de intersección, la cual dio una combinación que proporcionó una dureza de 35 Shore A en promedio.

Quinto paso: con las dos mayores durezas del primer ciclo o con los puntos que no se tomaron en cuenta para trazar desde su vértice la bisectriz anterior y con el nuevo resultado de dureza obtenido en el paso anterior, se realiza el segundo ciclo. Para el ejemplo estos puntos serían 1, 2 y 4.

Ensayo de Dureza N° 39
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 13/06/2008
 Ciclo N° 2

	Niveles		Valores de Dureza						
	WB16	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Current	54	249	35	35	34	36	34	34.8	0.837
Simplex	75	346	37	36	36	36	36	36.2	0.447
	31.85	292.15	36	35	36	34	34	35	1.000
	WB16	Rubbersil	AVG	Overall		StdDev		0.796	
Best	75	346	36.2	StdError de		la media		0.459	
Worst	31.85	292.15	35	Diferencia				1.4	
Middle	54	249	34.8						
Delta	53.425	319.075	-						
	-0.575	70.075	-						
	WB16	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.0)	38.03	370.66	35	35	35	34	34	34.6	0.548
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 3.5. Registro de datos y cálculos EVOP WB16 Vs. Rubbersil correspondiente al Ciclo 2.

Fuente: Artilles, N. (1999). *Advanced Industrial Experimentation*. Manuscrito no publicado, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez.

Luego, se repiten desde el segundo paso todo lo indicado anteriormente, tomando en consideración los nuevos valores de dureza obtenidos y que solo se trabajó en este proyecto hasta completar el ciclo 3 que corresponde al punto 6 de la gráfica 3.3 adjunta.

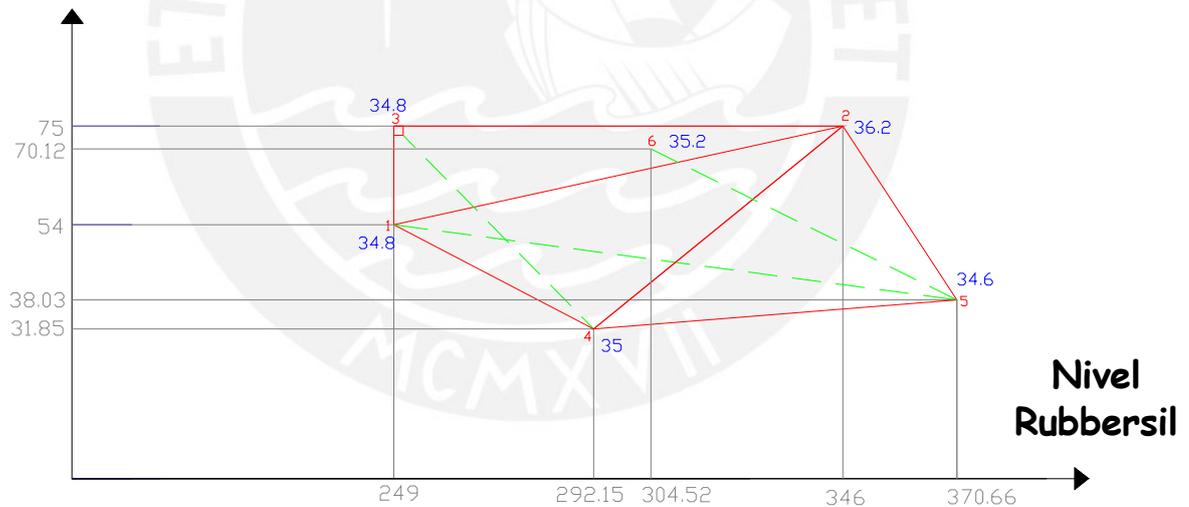
Ensayo de Dureza N° 48
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 20/06/2008
 Ciclo N° 3

	Niveles		Valores de Dureza					Promedio	StdDev
	WB16	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5		
Current Simplex	31.85	392.15	36	35	36	34	34	35	1.000
	75	346	37	36	36	36	36	36.2	0.447
	38.03	370.66	35	35	35	34	34	34.6	0.548
	WB16	Rubbersil	AVG	Overall StDev		StdError de la media		0.707	
Best	75	346	36.2					0.408	
Worst	31.85	292.15	35						
Middle	53.425	319.075	-						
Delta	15.395	-51.585	-					Diferencia 1.6	
	WB16	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	70.12	304.52	35	35	35	36	35	35.2	0.447
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 3.6. Registro de datos y cálculos EVOP WB16 Vs. Rubbersil correspondiente al Ciclo 3.

Fuente: Artiles, N. (1999). *Advanced Industrial Experimentation*. Manuscrito no publicado, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez.

Nivel WB16



ESCALA 1/1000

G

Gráfica 3.3. Esquema de valores para el análisis del EVOP WB16 Vs. Rubbersil.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que las demás tablas de Registro de datos y cálculos junto con sus respectivas gráficas para todas las combinaciones de factores, serán adjuntadas en el **anexo 2 y 3**, respectivamente.

3.3.2 Realización de los ensayos de dureza.

De acuerdo a lo mencionado en el punto 2.3.1, el ensayo de dureza a realizar será conforme al Método Estándar de Prueba para las Propiedades del Caucho, en la cual se hace referencia específicamente a la Norma ASTM D 2240- 03.

Como punto de partida para la aplicación de la norma mencionada anteriormente, se mostrarán a continuación todas aquellas combinaciones que fueron determinadas en la **Tabla 3.1**, adicionando a ellos los valores que formarán los puntos inferior, superior y vértice del triángulo inicial característico del EVOP simplex, del cual se irán deduciendo los demás puntos cartesianos que, luego de realizar sus ensayos respectivos, nos darán nuevos valores de dureza que nos servirán para ir analizando la optimización del proceso de vulcanización.

Factores	Valor inferior	Valor superior	Vértice
Combinación Azure vs. WB16			
Azufre	13	19	13
WB16	54	75	75
Combinación DPG vs. Acido Esteárico			
DPG	11	16	16
Ácido Esteárico	41	56	41
Combinación WB16 vs. Rubbersil			
WB16	54	75	75
Rubbersil	249	346	249
Combinación Acido Esteárico vs. Rubbersil			
Acido Esteárico	41	56	41
Rubbersil	249	346	346
Combinación WB16 vs. Tiempo de vulcanizado			
WB16	54	75	75
Tiempo de vulcanizado	15	25	15
Combinación Acido Esteárico vs. Tiempo de vulcanizado			
Acido Esteárico	41	56	41
Tiempo de vulcanizado	15	25	25
Combinación Azufre vs. Tiempo de vulcanizado			
Azufre	13	19	13
Tiempo de vulcanizado	15	25	25
Combinación DPG vs. Tiempo de vulcanizado			
DPG	11	16	16
Tiempo de vulcanizado	15	25	15
Combinación Rubbersil vs. Tiempo de vulcanizado			
Rubbersil	249	346	249
Tiempo de vulcanizado	15	25	25

*Tiempo de vulcanizado en minutos

*Demás medidas en gramos.

Tabla 3.7. Combinación de insumos y sus respectivos valores para la aplicación del EVOP.

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en consideración el orden de las combinaciones que presenta la **Tabla 3.4**, se iniciará la toma de datos y cálculos respectivos usando el formato mostrado con anterioridad. Es importante mencionar que el **número máximo de ciclos EVOP a realizar será de tres**, esto debido a que el objetivo de este proyecto es el de presentar que tan viable puede ser la validación del procesamiento de caucho en la Empresa “E” y no la determinar a ciencia cierta la validación del proceso, ya esto requiere de un tiempo considerable de estudio y uso de recursos.

3.3.2.1 Toma de datos.

i. Ciclo inicial.

De acuerdo al método EVOP Simplex utilizado, se obtuvieron las primeras 27 probetas correspondientes a las nueve combinaciones que forman el presente estudio. Cabe recordar que cada combinación consta de tres puntos a analizar en primera instancia, por ende 3 probetas a sacar por combinación. A continuación se mostrará una tabla resumen de los primeros 27 valores de dureza Shore A obtenidos en el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú, los cuales fueron comparados con los obtenidos en la Empresa “E”.

Como se puede apreciar en la **Tabla 3.5**, existen variaciones pequeñas porcentualmente, pero considerables numéricamente en relación a los resultados del proceso que representan. Si bien es cierto existen resultados cercanos para la probeta número 13, es preciso también indicar que para las demás combinaciones existen variaciones que van desde el 6% hasta el 10% aproximadamente, lo que hace pensar en la falta de una calibración adecuada del durómetro utilizado en la empresa donde se realiza este proyecto. Adicionalmente, se adjuntó a la tabla, los valores correspondientes a la probeta denominada “normal”, ésta fue sacada del proceso que se realiza actualmente sin considerar variación alguna. Para esta probeta, tanto los resultados del laboratorio como de la empresa, son cercanos, pero no confiables, ya que como se mencionó líneas arriba, el durómetro de la empresa parece no estar calibrado adecuadamente.

Los formatos para la toma de datos y cálculos y las gráficas respectivas por combinación y ciclo realizados, serán adjuntados en el final de este capítulo.

Valores de Dureza Shore A					
Ciclo Inicial					
Combinación	Probeta	Empresa "E"	Laboratorio PUCP	Variación unidades	Variación porcentual
-	Normal	34,2	34,8	-0,6	-1,75
Azufre vs WB16	1	33,7	35	-1,3	-3,86
	2	34,6	36	-1,4	-4,05
	3	33,4	36,8	-3,4	-10,18
DPG vs Ácido Esteárico	4	32,6	34,8	-2,2	-6,75
	5	34,4	36	-1,6	-4,65
	6	34,8	35,6	-0,8	-2,30
WB16 vs Rubbersil	7	34	34,8	-0,8	-2,35
	8	34,6	36,2	-1,6	-4,62
	9	33,7	34,8	-1,1	-3,26
Ácido Esteárico vs Rubbersil	10	34,9	34,8	0,1	0,29
	11	35,7	36,4	-0,7	-1,96
	12	36,7	35,8	0,9	2,45
WB16 vs Tiempo de vulcanizado	13	34	34,8	-0,8	-2,35
	14	35,1	35	0,1	0,28
	15	32	34	-2	-6,25
Acido Esteárico vs Tiempo de vulcanizado	16	34	35,6	-1,6	-4,71
	17	35	35	0	0,00
	18	35,4	35,8	-0,4	-1,13
Azufre vs Tiempo de vulcanizado	19	33	35,2	-2,2	-6,67
	20	35,4	34,6	0,8	2,26
	21	38,6	38	0,6	1,55
DPG vs Tiempo de vulcanizado	22	35,3	37,2	-1,9	-5,38
	23	36,6	39	-2,4	-6,56
	24	36,9	39,4	-2,5	-6,78
Rubbersil vs Tiempo de vulcanizado	25	36,7	38,2	-1,5	-4,09
	26	36,5	38,2	-1,7	-4,66
	27	36	38,4	-2,4	-6,67

Tabla 3.8. Valores de Dureza Shore A correspondientes al Ciclo Inicial.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora, considerando solo los valores numéricos obtenidos en el Laboratorio PUCP, se puede ver que se han obtenido durezas que pueden ser consideradas como buenas, respecto al resultado obtenido de la probeta normal (34.8 Shore A). Es así que la combinación DPG vs Tiempo de vulcanizado nos brinda resultados de dureza de alrededor de 39 Shore A, lo que nos indica, a priori, que dicha combinación (con las proporciones adecuadas de insumos y caucho) puede ser puesta en práctica para obtener mejores resultados en los productos. De igual forma, las variaciones de Rubbersil y del tiempo de vulcanización han dado como resultados valores interesantes, ya que una dureza de alrededor de 38.2 es buena para el rango que especifica la Empresa "E" (35 ± 5 Shore A).

Caso contrario a lo anteriormente analizado, son los resultados de las variaciones hechas entre WB16 vs Rubbersil, WB16 vs Tiempo de vulcanizado y el resultado de la probeta "normal". En estas podemos encontrar durezas que no están dentro de los límites de especificación dadas por la empresa, lo cual nos hace pensar que

estas combinaciones puede que no sean muy útiles para alguna mejora del proceso.

A medida que se vayan completando los tres ciclos determinados para este diseño de experimentos, podremos ir encontrando algunas alternativas de mejora continua para el tratamiento del caucho; así como desechando otras debido a un bajo valor de dureza que nos puedan brindar como resultado.

ii. Ciclo I.

Según el método de aplicación que corresponde al Diseño de Experimentos elegido, se obtuvieron los siguientes valores de dureza que mostramos en la **Tabla 3.6**, los cuales a su vez serán explicados diferenciando cada combinación de factores que se considere relevante al proceso.

Valores de Dureza Shore A					
Ciclo UNO					
Combinación	Probeta	Empresa "E"	Laboratorio PUCP	Variación unidades	Variación porcentual
Azufre vs WB16	28	35,7	36,4	-0,7	-1,96
DPG vs Ácido Esteárico	29	34,9	36	-1,1	-3,15
WB16 vs Rubbersil	30	34,9	35	-0,1	-0,29
Rubbersil vs Tiempo de vulcanizado	31	39,8	39,2	0,6	1,51
DPG vs Tiempo de vulcanizado	32	37,4	38	-0,6	-1,60
Azufre vs Tiempo de vulcanizado	51	28,4	26	2,4	8,45
Ácido Esteárico vs Tiempo de vulcanizado	34	37,6	37	0,6	1,60
WB16 vs Tiempo de vulcanizado	35	38,5	37	1,5	3,90
Rubbersil vs Ácido Esteárico	36	35,7	36,2	-0,5	-1,40

Tabla 3.9. Valores de Dureza Shore A correspondientes al Ciclo Uno.

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta los resultados del ciclo uno, se puede inferir que las diferencias en las mediciones realizadas en la Empresa "E" y el Laboratorio PUCP han disminuido con relación a los resultados de los primeros 27 ensayos realizados; sin embargo, esto no quiere decir que los resultados brindados por la empresa sean

confiables, ya que según la experiencia vivida en el desarrollo de este proyecto, se sigue considerando como no calibrado al durómetro utilizado por ellos. Por esta razón, de aquí en adelante, todas las descripciones y conclusiones acerca de los valores obtenidos serán hechas considerando solo a los resultados brindados por el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

En este primer ciclo realizado, la variación de la combinación del tiempo de vulcanizado con Rubbersil ha mostrado un buen resultado de dureza comparándola con el mayor resultado obtenido en el Ciclo Inicial, esto pudo darse debido a que se aumentaron las cantidades de Rubbersil en 13 Gr. y la vulcanización se extendió a 30 minutos. Sin embargo; al analizar los factores Tiempo de Vulcanizado vs. Azufre, se obtuvo una dureza promedio muy baja (26 Shore A) que se debió a una muy poca cantidad de azufre en la mezcla de insumos.

Ahora, vemos que también en la combinación del tiempo y DPG se ha obtenido 38 unidades de dureza Shore A, este valor se le considera como bueno para el proceso ya que está dentro de especificación; sin embargo si lo comparamos con el mejor resultado obtenido en el Ciclo Inicial (39.4 Shore A), nos daremos cuenta que existe una reducción en la dureza de la probeta; por lo que es conveniente reducir el tiempo de vulcanización en un porcentaje pequeño y aumentar DPG en poca cantidad, todo esto con respecto a las cantidades actuales de estos dos factores para 3 Kg de caucho utilizados.

Por último, analizando las demás combinaciones, deducimos que hay algunas mejoras en el resultado de alguna de ellas, pero éstas no son lo suficientemente altas para poder ponerlas en práctica en el procesamiento del caucho debido a que sus valores de dureza son casi iguales o menores a las de las tratadas en el Ciclo Inicial.

iii. Ciclo II.

Para esta segunda fase de análisis se ha visto que las variaciones de dureza han tenido significativos decrementos en sus valores, comparándolas con las máximas durezas obtenidas en los Ciclo Inicial y con la dureza promedio obtenida en el Ciclo UNO, para cada una de las variaciones de insumos que forman parte de este estudio. A continuación se mostrarán los valores de dureza Shore A y se explicarán los mismos tomando en consideración cada combinación que formó parte de este ciclo.

Valores de Dureza Shore A					
Ciclo DOS					
Combinación	Probeta	Empresa "E"	Laboratorio PUCP	Variación unidades	Variación porcentual
Azufre vs WB16	37	33,4	31,8	1,6	4,79
DPG vs Acido Esteárico	38	34,6	34,40	0,20	0,58
WB16 vs Rubbersil	39	33,5	34,6	-1,1	-3,28
Rubbersil vs Tiempo de vulcanizado	40	33,4	30,8	2,6	7,78
DPG vs Tiempo de vulcanizado	41	33,4	32	1,4	4,19
Azufre vs Tiempo de vulcanizado	55	35,7	37,4	-1,7	-4,76
Ácido Esteárico vs Tiempo de vulcanizado	43	33,4	32	1,4	4,19
WB16 vs Tiempo de vulcanizado	44	33,6	31,4	2,2	6,55
Rubbersil vs Acido Esteárico	45	35,3	33,80	1,50	4,25

Tabla 3.10. Valores de Dureza Shore A correspondientes al Ciclo Dos.

Fuente: Elaboración propia.

- **Combinación Azufre vs. WB16:** los valores de dureza Shore A han disminuido en 4.6 y 5 unidades tomando como referencia al Ciclo Uno y al Ciclo Inicial, respectivamente. La diferencia mostrada respecto al último ciclo mencionado nos indica que el aumento de 7.36 gr. de Azufre y 31.52 gr. de WB16 ya no causan un efecto favorable en el crecimiento de la dureza de la probeta, lo que quiere decir que los 13 gr. de Azufre y los 75 gr. de WB16 corresponden a un tope máximo de dureza para esta combinación. Respecto a las diferencias con el Ciclo Uno, éstas ya no son necesarias para el análisis ya que, como se mencionó en el párrafo anterior, el máximo valor de dureza obtenido hasta el momento, corresponde al Ciclo Inicial.
- **Combinación DPG vs. Ácido Esteárico:** Esta variación de insumos tanto en el Ciclo Inicial como en el Ciclo Uno, muestran valores promedio de dureza similares, por lo que la diferencia de 1.6 Shore A con relación al Ciclo Dos son las mismas para ambos casos. En concreto, para el análisis de esta combinación se tendría que esperar al Ciclo tres, de modo que se pueda ir definiendo cual combinación es la que mostrará el máximo valor de dureza. Hasta el momento dicho valor es de 36 Shore A y éste no podrá ser aplicado

en el proceso de producción ya que en la anterior combinación descrita (Azufre vs. WB16) se obtuvo 36.8 Shore A.

Cabe resaltar, en primera instancia y de acuerdo a los valores mostrados por las tablas de registro de datos correspondientes a esta combinación, que un aumento o disminución en las cantidades de DPG y Ácido Esteárico no guardan ningún grado de correlación para dar con los valores de dureza mostrados en dichas tablas. Esto quiere decir que si se aumenta DPG en una cantidad "x" y se reduce en una cantidad igual al Ácido Esteárico, esta variación me podrá dar un menor, igual o mayor valor de dureza que si la variación en las cantidades de los insumos mencionados hubiese sido en aumentar a los dos en la misma cantidad "x".

- **Combinación WB16 vs. Rubbersil:** Con relación entre el Ciclo Inicial y el Ciclo Uno, la variación de WB16 y Rubbersil son iguales, los tiempos de vulcanización son los mismos, pero los valores de dureza diferentes. Esto nos hace pensar que existen muchos más factores a analizar para el proceso: la cantidad de vapor suministrado hacia al el platillo de la prensa, la habilidad del operario para vulcanizar el producto, el porcentaje de pérdida en los insumos al momento de la molienda, entre otros.

Por lo mencionado en el párrafo anterior y al igual que la combinación DPG vs. Ácido Esteárico, no existe un grado de correlación entre el WB16 Y el Rubbersil para determinar un aumento o disminución de la dureza; es decir que el proceso de vulcanización parece funcionar acorde a una variación total de los insumos y no solo de un grupo determinado de ellos.

- **Combinación Rubbersil vs. Tiempo de Vulcanizado:** La variación de estos dos factores presenta al parecer una importante tendencia para determinar una mayor dureza de los productos, es así, que en el Ciclo Uno se combinó 13.53 gr. de Rubbersil de más y se aumentó el tiempo de vulcanizado en 5 minutos con respecto al Ciclo Inicial, dando como resultado un incremento de la dureza en 0.8 unidades.

Ya para el segundo ciclo se disminuyó la cantidad de Rubbersil en 95.99 gr. y se mantuvo constante el tiempo de cura, esta variación dio una dureza de 30.8 Shore A como resultado, disminuyendo en 8.4 unidades con respecto al Ciclo Uno.

Esta variación en los resultados parece dar a conocer que el Rubbersil es muy importante para la obtención de una adecuada dureza, siempre y cuando el

tiempo de vulcanización no sea muy bajo y este a más de 25 minutos aproximadamente.

- **Combinación DPG vs. Tiempo de Vulcanizado:** Según las diferencias en los resultados de dureza, las cantidades de DPG suministradas sobre la mezcla prevalecen en las variaciones de tiempo de cura que se puedan aplicar. Nótese, en el anexo 2, en la **Tabla de registro de datos y cálculos** correspondiente que el aumento en casi una misma proporción de DPG como de tiempo da un decremento de dureza en 1.4 unidades; sin embargo, si aumenta 15 gr. de DPG y 4 minutos de tiempo en relación al Ciclo Uno se verá una disminución de la dureza en 6 unidades. Por tanto, si se aplica un tiempo de vulcanización cercano, pero mayor a 15 minutos y se considera una cantidad de DPG no muy baja ni tan alta, aproximadamente entre 16 y 22 gr., se podría obtener un producto con una dureza considerable dentro de las especificaciones planteadas por la empresa. En todo caso al analizar los resultados del Ciclo Tres se podrá un poco más clara la especulación mencionada.
- **Combinación Ácido Esteárico vs. Tiempo de Vulcanizado:** El agregar más o menos Ácido Esteárico no causa un efecto directo sobre la vulcanización, ya que para obtener las 37 unidades de dureza en el Ciclo Uno, se redujeron 15 gr. de Ácido Esteárico y el tiempo en 9 minutos aproximadamente. Luego, ya en el Ciclo Dos, se redujeron 9 gr. y 8 minutos aproximadamente, dando como resultado 32 Shore A de dureza.
Por teoría, el efecto del Ácido Esteárico es secundario sobre la dureza a obtener, porque éste es un insumo que solo da el efecto lubricante y homogeneizante sobre los demás químicos que forman parte de la mezcla. Por ende la dureza dependerá de cuanto se ha agregado de los demás insumos que no son lubricantes, lo cual se corrobora en las relaciones de diferencias de durezas de los ciclos analizados hasta el momento.
- **Combinación WB16 vs. Tiempo de Vulcanizado:** De acuerdo a las características anteriormente explicadas del WB16, éste solo funciona como un homegeneizante y como un elemento que mejora la viscosidad y desmolde de la muestra; al parecer, según los resultados de dureza obtenidos en el Ciclo 2 y comparándolos con los demás ciclos, se ve que un aumento o disminución en solitario de este insumo no contribuye directamente a mejorar

la dureza de los productos. Es decir solo está volviendo homogénea a la muestra con las cantidades de los demás insumos que formaron parte de la mezcla. Tal vez si se hubiese llegado a variar a la vez el WB16 con el Rubbersil y el tiempo de vulcanizado, se hubiese llegado a obtener resultados interesantes.

- **Combinación Ácido Esteárico vs. Rubbersil:** a través de los resultados obtenidos en los diferentes ciclos, podemos inferir hasta el momento que, las cantidades de Rubbersil que forman parte de una mezcla no son directa ni indirectamente proporcionales a los valores de dureza resultantes en las probetas hasta aquí analizadas para la presente combinación.
Esto contradice a lo mencionado para la combinación Rubbersil vs. Tiempo de vulcanizado; sin embargo, si se llega a considerar un tercer factor llamado “Tiempo de vulcanizado”, es posible que estos valores de dureza cambien, de modo que el análisis de los resultados sea más objetivo.
- **Azufre vs. Tiempo de Vulcanizado:** Comparando este segundo ciclo con el primero, se ve que el azufre es un insumo muy importante para que el caucho se vulcanice adecuadamente y adquiera la dureza necesaria para uso, ya que se registró un aumento de 11.4 Shore A.
En el primer ciclo se redujo la cantidad de azufre a 7 gr. y se consideró un tiempo de cura de 18 minutos, ya en el Ciclo II la cantidad del azufre sufrió una variación considerable al aumentarle 15 gr. a la fórmula y variar en tan solo 3 minutos de más al tiempo de vulcanización. Asimismo, una mayor variación del tiempo y una menor dosis de azufre también contribuyen a que la dureza sea considerada como aceptable, esto se puede ver al comparar los valores considerados para los factores y los resultados de dureza obtenidos en el Ciclo II versus el mejor resultado del Ciclo Inicial.

iv. Ciclo III.

Los resultados de este ciclo se muestran los siguientes valores de dureza que se adjunta a continuación en la **Tabla 3.8**. Cabe resaltar que las explicaciones de los mismos se realizarán líneas abajo, considerando también las **Tablas de registro de datos y cálculos**, las cuales se adjunta en el anexo 2 de este trabajo.

Valores de Dureza Shore A					
Ciclo TRES					
Combinación	Probeta	Empresa "E"	Laboratorio PUCP	Variación unidades	Variación porcentual
Azufre vs WB16	46	37,5	36,8	0,7	1,87
DPG vs Acido Esteárico	47	36,9	35,8	1,1	2,98
WB16 vs Rubbersil	48	35,4	35,2	0,2	0,56
Rubbersil vs Tiempo de vulcanizado	49	34,3	33,8	0,5	1,46
DPG vs Tiempo de vulcanizado	50	35,9	35,6	0,3	0,84
Azufre vs Tiempo de vulcanizado	56	34,2	36,6	-2,4	-7,02
Acido Esteárico vs Tiempo de	52	35,4	33,6	1,8	5,08
WB16 vs Tiempo de vulcanizado	53	35,1	33,8	1,3	3,70
Rubbersil vs Ácido Esteárico	54	36,9	37	-0,1	-0,27

Tabla 3.11. Valores de Dureza Shore A correspondientes al Ciclo Tres.

Fuente: Elaboración propia.

- **Azufre vs. WB16:** comparando la dureza obtenida en este ciclo con relación al anterior, se obtuvo un notable incremento de 5 unidades en la dureza de la probeta obtenida al aumentar 8.8 gr. de Azufre y reducir en una mínima cantidad de 0.56 gr. al WB16 en la mezcla. Es decir se mantuvo la homogeneidad del caucho procesado y se mejoró la vulcanización al tener una dosis adecuada de azufre y un tiempo idóneo de vulcanizado. La variación de estos dos últimos factores, manteniendo constante las demás cantidades de insumos, puede dar mejores resultados de dureza, ya que el azufre contribuye a la vulcanización del caucho siempre y cuando se agreguen cantidades correctas acorde al tiempo de vulcanización necesario.
- **DPG vs. Ácido Esteárico:** En este caso, casi se ha vuelto a los resultados del Ciclo Inicial, podemos inferir acorde a las cantidades de los insumos que son motivo de variación para esta combinación, que tanto el DPG, como el Ácido Esteárico, tienen al parecer un tope que nos indica la máxima cantidad de gramos que se pueden utilizar para mejorar la dureza. Es decir, se ha llegado a una máxima dureza de 36 Shore A, combinando de 16 gramos a más de DPG y 56 gramos, o un poco menos, de Ácido Esteárico. Por lo tanto,

solo vale la pena considerar 16 gr. de DPG y aproximadamente 50 gr. de Ácido Esteárico para obtener una dureza igual a 36 Shore A, de esta forma nos evitamos desperdiciar mayores cantidades de estos insumos y ahorrar el costo de los mismos.

- **WB16 vs. Rubbersil:** La dureza obtenida en este tercer ciclo fue de 35.2, la cual no es la mayor obtenida a lo largo de todos los ciclos realizados debido a que en algunos casos se redujo en demasía los gramos de WB16 y se aumentó Rubbersil, lo que produjo una mezcla no homogénea en todas sus partes (resultados del segundo ciclo). Por otro lado, considerando que la mayor dureza obtenida es de 36.2 para esta combinación, las cantidades de los dos insumos variados en este ciclo se redujeron en 5 gr. de WB16 y aproximadamente 41 gr. de Rubbersil, diferencias que afectaron en poco porcentaje a la reducción de la dureza (1 Shore A). Si se mantuviera el WB16 en una cantidad aproximada a 75 gr. y se aumentara a más de 346 gramos al Rubbersil, es probable que así se obtengan mejores durezas.
- **Rubbersil vs. Tiempo de Vulcanizado:** el valor de dureza obtenido en este ciclo es mayor en 3 unidades al resultado que se dio en el ciclo anterior. Sin embargo; la mejor combinación dada hasta el momento se dio en el Ciclo Uno, en donde el valor de dureza llegó a 39.2 Shore A. Queda claro, según el registro de datos correspondiente a este ciclo, que si se varía solamente el Rubbersil, los resultados de dureza no aumentan de por sí, para que se logre un aumento es necesario que también se varíe el Tiempo de vulcanizado.
- **DPG vs. Tiempo de Vulcanizado:** los resultados hasta aquí mostrados revelan que no necesariamente aumentando el tiempo de cura y manteniendo constante la cantidad de DPG en la muestra, se logrará una mejor dureza. Lo que sí queda claro es que si se disminuye una cantidad importante de DPG, la dureza disminuye, siempre y cuando el tiempo pueda estar en un rango de 20 ± 5 minutos. Es importante mencionar que la cantidad de DPG en la probeta causa un efecto favorable cuando estamos a una temperatura de vulcanización de 145 °C aproximadamente y esto depende también de la cantidad de azufre con MBTS que se haya agregado a la mezcla.
- **Ácido Esteárico vs. Tiempo de Vulcanizado:** Los resultados de este tercer ciclo reflejan que la mejor dureza hasta ahora obtenida fue de 37 Shore A y

que corresponde al Ciclo I. Según las cantidades de Ácido Esteárico agregadas en los diferentes ciclos, parece ser que este insumo tiene un límite para poder mostrar una mejor homogeneización de la mezcla y a la vez mostrar una mejor dureza, ya que tanto en el Ciclo II como en el III, las cantidades de Ácido Esteárico fueron mayores a la del I y no mostraron mejora alguna en cuanto a la dureza se refiere. Un adecuado tiempo de vulcanización, entre 20 y 30 minutos aproximadamente y una cantidad de alrededor 26 gr. de Ácido Esteárico podrían mostrar mejores resultados de dureza para la realización de un cuarto ciclo.

- **WB16 vs. Tiempo de Vulcanizado:** Similar a la descripción dada para esta combinación en el ciclo anterior, el WB16 al actuar más como homogeneizante, necesita de una dosis adecuada de aquellos insumos que pueden intervenir directamente sobre el tratamiento de la dureza. Pensamos que si se aumenta las dosis de WB16 y Rubbersil por junto, y se varía el tiempo de cura, se podría obtener un mejor resultado en cuanto a la propiedad física que analiza este proyecto.
- **Ácido Esteárico vs. Rubbersil:** Los dos factores que forman parte de esta combinación no muestran ningún grado de tendencia con relación a los valores de dureza obtenidos. Sin embargo, la dureza resultante de este último ciclo fue la mayor para esta combinación, comparándolas con las mediciones realizadas en ciclos anteriores. Al igual que en el Ciclo Dos, si se considera como un tercer factor de variación al Tiempo de Vulcanizado, es posible que los valores de dureza cambien favorablemente y así se tengan conclusiones más objetivas sobre la influencia de estos dos factores.
- **Azufre vs. Tiempo de Vulcanizado:** Los resultados nos demuestran que si consideramos una dosis demasiado baja de Azufre, como es el caso del primer ciclo, la dureza también sale baja. Para ello hay que tener en claro también de cómo han actuado los demás insumos en la mezcla, ya que en el Ciclo Inicial la dosis de azufre fue baja, pero se obtuvo la dureza más alta hasta el momento.

3.3.2.2 Conclusiones para las durezas obtenidas.

Según los ciclos realizados, se han obtenido las siguientes conclusiones acorde a los resultados de dureza obtenidos:

- Con la combinación DPG Vs. Tiempo de vulcanizado se ha obtenido la mayor dureza a lo largo de todos los ciclos (39.4 Shore A), en esta se utilizaron 16 gr. de DPG y 15 minutos para el tiempo de vulcanización.
- La combinación Rubbersil Vs. Tiempo de vulcanizado muestra una dureza 39.2 Shore A, la cual también puede ser aplicada en la producción real de la empresa.
- La desviación estándar para todas las medidas realizadas no excede los 2.5 Shore A aplicados por la empresa, por tanto los resultados obtenidos son aceptados y considerados como válidos. Asimismo a continuación se presentan 10 ensayos de dureza a las probetas obtenidas en condiciones actuales, las cuales demuestran estar dentro de las especificaciones que determina la empresa.

Muestra	V1	V2	V3	V4	V5	Promedio	Rango
1	33	32	32	32	33	32,4	1
2	34	34	34	34	35	34,2	1
3	33	35	33	34	33	33,6	2
4	33	35	33	33	33	33,4	2
5	33	32	32	33	33	32,6	1
6	32	33	34	34	36	33,8	4
7	36	34	35	34	35	34,8	2
8	33	34	35	34	36	34,4	3
9	34	36	36	35	34	35	2
10	34	38	35	36	36	35,8	4

Media de las medias de las muestras	34
Rango promedio de las muestras	2,2
Factor de la media (A_2)	0,308
Intervalo inferior	33,3
Intervalo superior	34,68

Tabla 3.12. Cálculo de los límites de control para el actual proceso productivo del caucho. Fuente: Empresa "E".

Como se puede apreciar los límites de control resultantes de los ensayos están entre 33.3 y 34.68 Shore A, valores que están incluidos dentro del 35 ± 5 Shore A especificados.

- Existen diferencias en las medidas realizadas por la empresa y el laboratorio, lo que hace suponer que el durómetro de la empresa no está calibrado correctamente.
- En distintas combinaciones donde interviene el azufre, WB16 y Acido Esteárico se han obtenidos durezas de alrededor de 31 Shore A, esto hace suponer que no se ha lubricado y homogeneizado el acelerante a lo largo de la vulcanización del caucho.
- Las cantidades de los distintos insumos utilizados no son directa ni inversamente proporcionales a la dureza obtenida, debido a que cada uno de ellos tienen una función determinada en la mezcla realizada.
- El tiempo de vulcanización es un factor independiente, ya que si el caucho se vulcaniza poco tiempo, este sale pegajoso y con brumos sin importar la cantidad de insumos químicos que se agregó a la mezcla. De igual forma, si se vulcaniza demasiado el caucho se vuelve muy duro e inservible cualquiera sea la cantidad de insumos químicos agregados.

Todos los datos numéricos y desviaciones calculadas en las distintas combinaciones, se pueden apreciar, como se vuelve a repetir, en el **anexo 2** del presente proyecto. Asimismo, las respectivas gráficas que muestran la secuencia de cada ciclo realizado serán mostradas en el **anexo 3**.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y PLANTEAMIENTOS DE MEJORA PARA EL PROCESO DEL CAUCHO.

4.1 ANÁLISIS, PLANTEAMIENTOS Y MEJORAS.

El presente capítulo se desarrollará considerando en forma específica a todas aquellas operaciones que fueron descritas en el capítulo anterior, de tal forma que se pueda definir objetiva y paulatinamente todas las mejoras a analizar y plantear para el proceso.

A continuación se iniciarán los análisis y planteamientos necesarios para las nueve operaciones que forman parte del proceso productivo del caucho.

- Operación 1: Recepción del caucho

Trimestralmente la empresa importa 25 TN de caucho natural, los cuales son almacenados bajo techo en la nueva planta de calderería que han implementado. De esta cantidad importada, trasladan, en una camioneta, 1 TN semanal a la planta donde se encuentra los rodillos de laminación del caucho, a fin de que el proceso de producción no pare por una falta de planificación de materiales. Debido a restricciones de espacio, el caucho almacenado no puede ser mayor a una tonelada, ya que al venir en paquetes de 50 Kg., éstos conforman varios bloques que son acomodados adecuadamente en la zona respectiva, tomando en cuenta también que en ella se encuentra la máquina cortadora de caucho y los sacos con trozos de este polímero que son llevados hacia el molino de rodillos constantemente. Acorde a lo mencionado anteriormente, esta operación es realizada idóneamente, considerando para ello todas las restricciones de espacio existentes. Es así que, el único planteamiento de mejora a sugerir sería la de un mayor espacio de almacenamiento y esto se puede lograr a través de un reordenamiento de la planta.

- Operación 2: Formulación de insumos.

Si bien es cierta que la preparación de las diferentes mezclas es hecha en forma exacta por el operario responsable, el almacenamiento de los insumos necesita de un espacio adecuado para que los diferentes químicos no sufran

roturas en sus envolturas ni se originen caídas de los envases que los contienen. Para evitar esto, todos los sacos de insumos deben de ser colocados en forma horizontal en unos estantes, los cuales deberán ser de una altura máxima de 2 metros con separaciones horizontales de 50 cm. aproximadamente. Estas medidas permitirán que se almacenen (por cada uno de los cinco pisos formados) 6 sacos, asumiendo que los estantes son de un ancho de 1.70 metros.

Ahora, para poder sacar cada uno de los insumos de su saco respectivo y pesarlos, se propone tener unas vasijas que tengan la capacidad, en kg. por insumo, de todas las cargas que se usan en una semana de trabajo, de modo que cada saco que se abra sea inmediatamente vaciado sobre el envase que le corresponde. Dichas vasijas deberán ser colocadas sobre unos estantes de dos escalones, los que tendrán unas aberturas circulares de medidas iguales al diámetro de la vasija, a fin de que siempre estén disponibles en forma segura para un pesaje rápido.

Adicionalmente a estos escalones, se colocarán sobre ellos unas repisas de dos niveles con seis separaciones, las que también estarán sobre la mesa de trabajo que sostiene a la balanza. En este caso la repisa será dos pisos e igual número de separaciones que servirán para colocar las cargas que se van pesando. Cada una de las cargas irán siendo numeradas a medida que se van dejando sobre cada una de las aberturas que le correspondan, a fin de evitar confusiones cuando el molinero las recoja para realizar la mezcla correspondiente. En la **Figura 4.1** se muestra un boceto para la distribución del área de insumos descrita anteriormente.

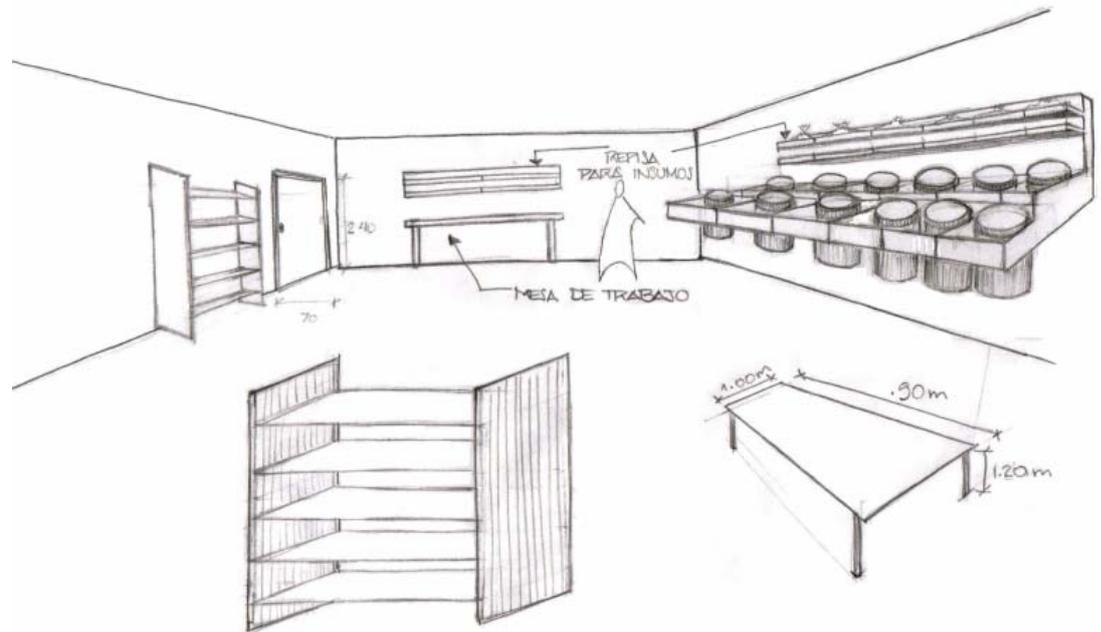


Figura 4.1. Propuesta de distribución para el área de insumos químicos.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los resultados de dureza por cada combinación realizada en el capítulo anterior, consideramos que para un mejor análisis de resultados, es preciso aplicar un diseño de experimentos que implique un mayor número de factores; sin embargo, con el diseño de experimentos realizado en este proyecto podemos inferir que los resultados de la dureza en el caucho vulcanizado, no solo pasa por analizar independientemente el tiempo de vulcanización, sino por ver en conjunto a los insumos más importantes.

Es así que para la obtención de dureza dentro de un rango aceptable es importante la cantidad de azufre, DPG y Rubbersil que fueron agregados a la mezcla, además del tiempo de vulcanizado que se considero para cada carga. Los demás homogeneizantes, lubricantes y acelerantes no causan efectos primarios sobre la dureza que se desea obtener.

Es importante recalcar que de nada sirve tener la combinación más óptima de insumos si es que no se ha considerado el tiempo idóneo para la cura del caucho.

- **Operación 3: Corte del caucho en trozos.**

Esta operación es realizada por una guillotina que permite trozar adecuadamente el caucho y en sí no se tiene propuesta de mejora alguna para la realización del corte.

- **Operación 4: Pesaje de los trozos de caucho.**

La balanza utilizada para pesar el caucho se encuentra en los exteriores de la zona actual de almacenamiento de este polímero, esta ubicación es inadecuada debido a que reduce el espacio de tránsito asignado en esta planta. La operación de pesaje propiamente dicha, se realiza correctamente el único problema, como se vuelve a repetir, es la ubicación de la balanza.

Para poder dar solución al pequeño problema mencionado líneas arriba se necesitaría realizar un reordenamiento físico de los espacios de trabajo y ubicación de cada equipo, los cuales deberían de estar debidamente identificados para poder realizar las operaciones con mayor rapidez y seguridad.

- **Operación 5: Extrusión del caucho.**

La extrusión del caucho es una de las operaciones más importantes a realizar a lo largo de todo el proceso, actualmente las planchas resultantes del molino de rodillos salen en forma adecuada, pero no se está regulando, mas sí controlando, de la mejor forma la temperatura en la cual los insumos deben de ser esparcidos sobre el caucho que se está laminando, ni tampoco la temperatura en la cual el molino de rodillos debe operar después de esparcir dichos insumos. Aparte, el tiempo de obtención de las planchas es un factor relevante a la producción, por ello se busca minimizar el **masterbach** (plastificación del caucho conteniendo Rubbersil y antioxidantes) de 30 minutos que es actualmente a 5 si fuera posible.

La experiencia del operario le permite regular la cantidad de agua fría y caliente que está siendo esparcida en el interior de los rodillos del molino, para que posteriormente, por intuición, el operario aproxime los rodillos a la temperatura deseada. Esta forma de operar no es segura y por eso se plantea el uso de un **Bamburi**, el cual es un equipo mecánico eléctrico que permite realizar el masterbach para 55 kg. de caucho en 5 minutos aproximadamente a temperaturas adecuadas, las cuales son digitalmente establecidas por el encargado de la operación. Después de realizar las operaciones con el Bamburi, el masterbach pasa al molino de rodillos convencional (para el cual la temperatura de los rodillos debe ser de aproximadamente 60 °C), en donde se agregan los acelerantes y se determina el espesor de la plancha que se quiere obtener. Esta última sub-operación requiere de 5 minutos más por plancha que se desee obtener y de

un masterbach de 55 Kg. se obtienen 4 planchas aproximadamente, por lo que el ratio total de operación sería de 25 minutos/ 4 planchas.

- **Operación 6: Preparación pre- vulcanizado.**

La preparación previa al vulcanizado se realiza acorde a lo descrito en el capítulo 3. Lo único que habría de resaltar es el lugar de almacenamiento de las almas y matrices, éstas, de acuerdo a su tamaño, son ubicadas sobre estantes en caso sean pequeñas y sobre el piso cuando son grandes.

- **Operación 7: Proceso de vulcanización.**

Para poder realizar la vulcanización de los productos los operarios toman en cuenta la presión a la que está trabajando el caldero, la geometría de la matriz, la temperatura que está brindando el plato de la prensa hacia la matriz y el tiempo de cura del producto que está siendo vulcanizado. Todo esto lo realizan bajo la supervisión del ingeniero encargado del área, el cual controla la temperatura a través de una pistola láser que muestra en una pantalla el valor al cual se está trabajando.

De acuerdo a la combinación de insumos y a los resultados de dureza obtenidos en las diferentes probetas, el tiempo de cura o cocción necesario para poder obtener una adecuada dureza varía entre 17 y 25 minutos para una pieza cuadrada de 10 mm. de espesor y 10 cm. de lado. Es importante saber que sea cual sea la variación de las cantidades en los insumos, el tiempo debe estar entre el margen señalado ya que de lo contrario el caucho saldrá demasiado cocido o muy pegajoso y con brumos en caso no se tome el tiempo necesario para la cura del producto.

Esta referencia podría ser aplicable en los productos que normalmente fabrica la empresa, tomando en consideración para ello la escala necesaria en las medidas, formas geométricas y espesores de cada producto.

- **Operación 8: Retiro de la matriz.**

Actualmente el retiro de todas las matrices se realiza con los implementos necesarios de seguridad debido a que éstas salen calientes de la prensa o la autoclave donde se ha vulcanizado, además de poseer un gran peso, lo cual hace necesario el uso de un pórtico y un montacargas manual para poder sacarlas adecuadamente.

Los trabajos que se realizan en esta zona deben de ser lo más ordenados posible, ya que al existir un constante movimiento de personal, materiales y equipos se debe de prevenir los daños tanto hacia el recurso humano como a los productos que están siendo fabricados.

- **Operación 9: Acabado.**

El uso adecuado del esmeril para caucho, de las tijeras, cuchillas e implementos de seguridad es de vital importancia para darle una mejor presentación a cada producto que se va fabricando. Es por eso que el encargado de esta función requiere del espacio necesario para poder realizar con comodidad su labor, además de tener su puesto de trabajo en el mismo lugar de donde se van sacando los productos vulcanizados.

Actualmente, este trabajo no se está llevando acabo en la planta donde se realiza la vulcanización, sino se está desarrollando en la planta de calderería, motivo por el cual se están generando tiempos de traslado innecesarios, los cuales dependiendo del tamaño del producto, pueden variar entre 5 y 20 minutos.

Acorde a lo mencionado, se plantea entonces realizar el traslado de la zona de acabado a la plancha de caucho, definir las zonas de tránsito en el área de vulcanización y, tener las herramientas, matrices y otros recursos en zonas seguras.

CAPÍTULO 5: MÉTODOS DE CONTROL Y SEGUIMIENTO PARA EL PROCESO DEL CAUCHO.

5.1 MÉTODOS DE CONTROL Y SEGUIMIENTO.

Acorde a las descripciones de las operaciones que forman parte del proceso productivo de vulcanización y según las mejoras planteadas para los mismos, se han definido los siguientes métodos de control y seguimiento con la finalidad de retroalimentar y optimizar las gestiones y los productos que se fabrican en la Empresa "E":

- Planear las cantidades de caucho a utilizar, tomando en cuenta las ventas de los productos y sus respectivas proyecciones. Además de considerar la escasez del caucho, el lead time del mismo y los incrementos de precio de éste material. De esa forma se irán aclarando las necesidades de espacio de almacenamiento y el uso que se les puede dar en caso exista un sobrante del mismo.
- Registrar diariamente datos de los pesos de cada insumo según fórmula, de modo que se puedan realizar análisis de exactitud, reproducibilidad y repetibilidad dos veces por semana en la balanza respectiva. Del mismo modo, hacer este análisis para los pesos de los trozos de caucho, definiendo previamente cual es la cantidad total de este polímero que está disponible para el corte.
- Controlar el tiempo que necesita el caucho para ser laminado, de tal forma que salga con el espesor y banda necesarios. Esta forma de control mostrará la capacidad productiva en la extrusión y evaluará el trabajo del operario en turno.
- Evaluar la vulcanización propiamente dicha por medio de ensayos de dureza y tracción, para luego, con los resultados obtenidos crear gráficas de control que podrán servir como referencia en un intervalo de tiempo determinado. Para el caso de los ensayos de dureza, estos pueden realizarse una vez por semana, ya que solo es necesario tener un durómetro debidamente

calibrado e identificado con la norma que lo regula (**ver Figura 5.1**); lo mismo no pasa con los ensayos de tracción, ya que éstos deben ser realizados por un laboratorio certificado y que tengan los equipos pertinentes para las mediciones de tracción a realizar. La frecuencia con que deben ser realizados no debe exceder a la de una vez por mes.

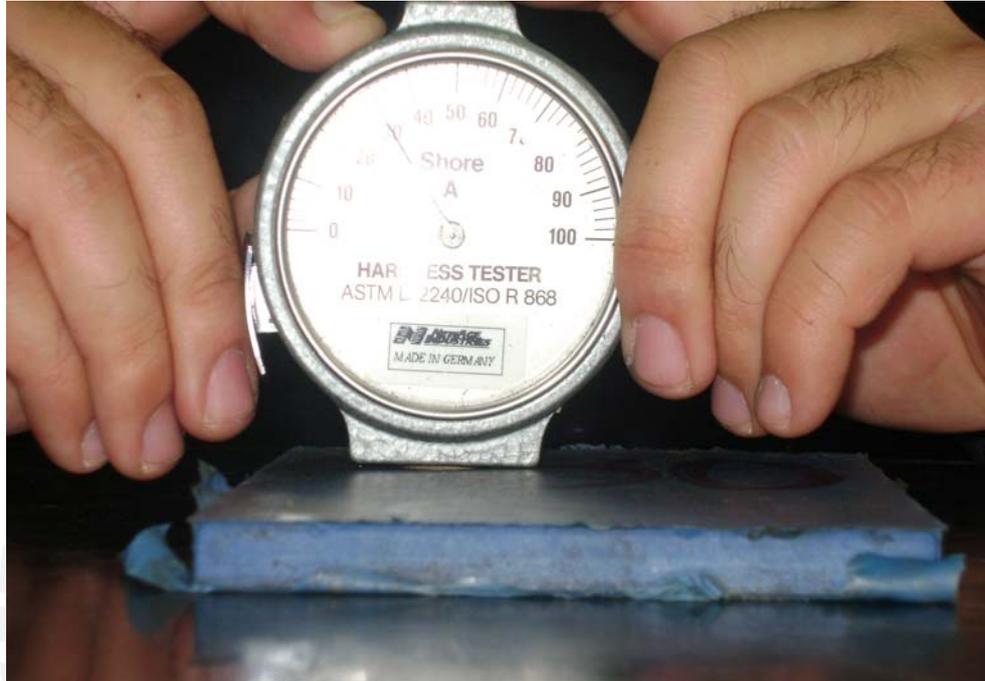


Figura 5.1. Durómetro con identificación acorde a la norma ASTM D 2240.
Fuente: Laboratorio de Materiales de la PUCP.

- A los productos resultantes de las operaciones de acabado, se plantea hacerles un control de calidad conforme al “número de productos no conformes” que van saliendo de esta operación. El mismo control se podría aplicar a los productos salientes de la operación de vulcanizado. De esta forma, a través de gráficas de control tipo “p” correspondientes, se podrían ir midiendo el número de productos fabricados que van saliendo de control y se podrán tomar las acciones respectivas acorde a esos resultados.
- Realizar el muestreo por aceptación a todos los productos que se fabriquen en cantidades considerables, definiendo previamente cuales son los niveles de aceptación buenos, malos y el grado de riesgo para el muestreo.

CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROCESO.

Según lo mencionado y descrito en los planteamientos de mejora y acorde a lo considerado en el capítulo anterior, se realizará la evaluación económica del presente proyecto. Para esto, se mostrarán primero todos los costos y ventas actuales en los que la empresa incurre para el procesamiento de caucho; luego, tomando en cuenta los dos capítulos anteriores, se indicarán cuales son los costos y ventas con las mejoras planteadas, para que finalmente se muestre la rentabilidad para cada caso.

Datos actuales	
Costos por mes (\$)	
Caucho	22990.8
Insumos químicos	26499.97
Agua	400
Energía_Molino	1309.35
Energía_prensas	261.87
Energía_acabado	174.58
Operarios	14166.67
Devoluciones	3960
TOTAL	69763.24
Ventas mensuales (\$)	
	264000
Rentabilidad (\$)	
	194236.76

Tabla 6.1. Datos numéricos actuales sobre costos y ventas de la empresa.
Fuente: Empresa "E".

En la **Tabla 6.1.** se muestran los montos de las ventas y costos actuales a los que está sujeta la empresa mensualmente en promedio, para estos datos se han tomado en consideración un prorrateo de los costos de energía totales, los cuales van en el siguiente orden acorde al porcentaje de uso:

Energía_Molino de rodillos:	75%.
Energía_prensas:	15%
Energía acabado:	10%

Los demás datos son un promedio que nos brinda la empresa, ya que no nos pueden proporcionar los reales por una cuestión de confidencialidad.

Como se puede observar, la empresa actualmente tiene un alto porcentaje mayor de ventas comparado a sus costos, lo que le permite obtener una rentabilidad competitiva en el mercado. Sin embargo, tiene un índice porcentual de 0.5% sobre el valor de ventas totales que corresponden a las devoluciones de algunas partes de los productos. Con las mejoras planteadas anteriormente y con las recomendaciones que se mencionarán en el próximo capítulo, este monto por devoluciones se espera que sea nulo.

A continuación, se presenta la **Tabla 6.2.** en la que se muestran los datos de costos y ventas esperados acorde a las mejoras y recomendaciones propuestas.

Datos con las mejoras planteadas	
Costos por mes con mejora (\$)	
Caucho	28738.50
Insumos químicos	33654.96
Agua	200
Bamburi	72000
Energía_molino	458.2725
Energía_prensas	261.87
Energía_acabado	174.58
Distribución física	300
Ensayos Dureza	20
Ensayos Tracción	250
Operarios	17000
Devoluciones	0
TOTAL	153058.18
Ventas mensuales (\$)	380160
Rentabilidad (\$)	227101.82

Tabla 6.2. Datos numéricos sobre costos y ventas acorde a las mejoras planteadas.
Fuente: Empresa "E".

Según los datos adjuntos en la parte superior, las ventas se han incrementado en un 44% respecto las de la **Tabla 6.2.**, esto debido a que se ha invertido en un equipo que permite tener una mayor capacidad de producción utilizando menor energía eléctrica (aproximadamente se reduce a un 48.75% de utilización) y agua (50% menos de utilización), además de haberse reducido el porcentaje de devoluciones a cero, tomando en cuenta para ello la aplicación de lo planteado en capítulos anteriores, como por ejemplo la realización de ensayo, una redistribución física y la aplicación de un control de calidad a los productos.

También es importante mencionar que se ha considerado un aumento del 20% sobre los sueldos de los operarios, ya que según sus políticas de RRHH, los trabajadores son la base de la empresa y merecen incentivos ante una mejora de la compañía.

Con todo ello, la rentabilidad aumenta en un 16.92 %, haciendo de la empresa cada vez más competitiva y permitiéndole invertir en nuevos proyectos para su desarrollo organizacional.



CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El análisis realizado hasta el capítulo anterior nos ha mostrado ciertas referencias importantes para poder presentar las siguientes conclusiones y recomendaciones que servirán a la empresa en bien de una mejor gestión del área productiva del caucho. Éstas son las siguientes:

7.1 CONCLUSIONES.

- El Diseño de Experimentos denominado Evolución Operativa (EVOP) ha demostrado ser un método más de enfoque global que individual sobre los factores que lo conforman. Es así que ninguno de los insumos analizados han mostrado alguna tendencia, sea proporcional o no, sobre la dureza resultante. Por lo tanto, el diseño aplicado está basado en la búsqueda del mejor resultado según la variación de los factores considerados.
- Las mediciones de dureza realizadas en la Empresa “E” son válidas debido a que los resultados de los 10 ensayos de dureza mostrados en el punto 3.3.2.2 muestran límites de control [33.3, 34.7] que están dentro de las especificaciones planteadas por la empresa (35 ± 5 Shore A).
- Tanto los resultados de los diez ensayos de dureza realizados sobre las probetas obtenidas acorde a la producción actual, como las especificaciones dadas por la empresa, demuestran que el proceso es estable y que se maneja bajo estándares de control. Asimismo, por lo dicho anteriormente, el proceso se valida.
- Acorde a los controles vía láser de las temperaturas de laminado y vulcanización, indispensables para una buena cura del caucho, se deduce que las operaciones que forman parte del procesamiento del caucho son válidos, ya que sin éstos el caucho podría salir inservible para su uso industrial.

- Acorde a las diferencias en los resultados de dureza entre la Empresa “E” y el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú, presentadas en el capítulo 3, deducimos que el durómetro utilizado en la empresa donde se realiza este proyecto, no está debidamente calibrado.
- La variación de Azufre y DPG, por separado, con el tiempo de vulcanizado, nos han mostrado buenos valores de dureza que pueden ser obtenidos en la fabricación de los productos. Por lo tanto, acorde a la hipótesis general, la aplicación y estandarización de estas combinaciones a una escala de producción real será beneficioso en bien de conseguir productos adecuados y de menor riesgo ante las devoluciones.
- El tiempo de vulcanización es el factor más importante para determinar una buena dureza, independientemente de algunas variaciones que se realicen en los insumos. Un tiempo muy corto de cura vuelve al caucho pegajoso e inservible, por el contrario, un tiempo excesivo hará al caucho muy duro e intratable para las condiciones que se requieren.
- La operación más importante dentro de todo el proceso es la laminación o extrusión del caucho, ya que en ella se tiene que tener especial cuidado por la temperatura de trabajo y por el momento en que se deben agregar los insumos. Una temperatura muy alta podría pre vulcanizar al caucho en contacto con los acelerantes, lo que daría como resultado un caucho inservible para las próximas operaciones.
- Los métodos de control y seguimiento planteados, serán de gran ayuda en establecer la variabilidad del proceso y un control a tiempo real del mismo.
- De acuerdo a los resultados de dureza mostrados en el diseño de experimentos, la combinación DPG (16 gr.) vs. Tiempo de vulcanizado (15 minutos) mostró una dureza de 39.4 Shore A, siendo

la más alta y con la cual se puede demostrar que el proceso productivo del caucho ha sido optimizado.

- Este proyecto además de servir para el análisis del proceso productivo del caucho, será útil también como una fuente de información para la futura certificación ISO 9001:2000, en la que la validación de los procesos forma parte de los requisitos planteados por esta norma.
- La inversión en el Bamburi es de 72000 \$, la cual debido a los incrementos de ventas se pueden recuperar en un solo mes.
- Los consumos de energía eléctrica y agua se reducen considerablemente al ya tener en proceso al Bamburi, el cual constituye una base importante para la reducción de costos.
- Las mejoras planteadas permiten a la empresa incrementar su rentabilidad en 16.92%, permitiendo la posibilidad de mejores inversiones y desarrollo organizacional.

7.2 RECOMENDACIONES.

- Los ensayos de tracción planteados para el mejor control del proceso, solo deberán ser realizados en la frecuencia señalada, ya que una frecuencia excesiva significa un gran gasto económico. La frecuencia señalada en el capítulo 5 es suficiente para ir controlando a los productos, ya que la dureza es la propiedad más importante a evaluar.
- Debido a que los polines son fabricados en grandes cantidades y no tienen un control de calidad una vez que se ha culminado su proceso de fabricación, la aplicación del muestreo por aceptación será de gran apoyo para controlar la cantidad de los mismos y determinar cuales salen fuera de especificación.

- Realizar pruebas de hipótesis para las medidas de pesos y durezas registradas, con esto se definiría la validez de los mismos determinando un nivel de significación adecuado (mayormente es de 0.05).
- Una mejor distribución física de las plantas que conforman el tratamiento del caucho ayudarían a una más rápida labor del operario, al mismo tiempo que generaría más seguridad en las acciones a realizar.
- La implementación del Bamburí hará que la extrusión sea más eficaz y eficiente al reducir los tiempos de tratamiento del masterbatch (solo se utilizaría tres veces por semana durante seis horas totales) y utilizar al mínimo los recursos energéticos y materiales.
- Según últimas informaciones, el proceso de vulcanización puede ser realizado a través del calentamiento de aceite, el cual pasa a través de tuberías para poder transmitir calor hacia las prensas. Por ende, se está proponiendo utilizar este recurso energético, el cual además es mucho más barato y tiene grandes posibilidades de brindar mejores resultados sobre el caucho a vulcanizar. Además, la realización de la vulcanización a través del vapor que brinda el caldero es muy peligrosa y significa un riesgo constante para los trabajadores a pesar del mantenimiento preventivo que se da.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Actividades económicas, Minería Disponible en http://www.educared.edu.pe/estudiantes/geografia/tema3_2_2_1.asp. Acceso en 8 setiembre 2006.

Artiles, N. (1999). *Advanced Industrial Experimentation*. Manuscrito no publicado, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez.

Bhote, Keki R. (2nd edition), *World Class Quality: Using Design of the Experiments to make it happen*, Editorial AMACOM, 1999, pp. 355-390.

Cardillo, Marco Antonio (Octubre- Diciembre 1995), *Nuevas tecnologías en la Industria del Caucho*, Lima.

Carranza, N. R. (2002), *Tecnología del Caucho*, Universidad Nacional del Callao, pp. 195-202, Callao.

C., Silvia Y M., Lucy. (Junio-Julio 2006). Objetivo común: Desarrollo Social del Perú, *Horizonte Minero*, Vol. 41, pp. 2.

C., Silvia Y M., Lucy. (Marzo- Abril 2006). Excelencia sinónimo de seguridad, *Horizonte Minero*, Vol. 39, pp. 12, 14.

C., Silvia Y M., Lucy. (Noviembre 2005). Antamina: *Cuatro años desarrollando al país*, *Horizonte Minero*, Vol. 36, pp. 6-8.

C., Silvia Y M., Lucy. (Septiembre- Octubre 2005). Actualidad: *Canon minero en los últimos cinco años ha crecido 588 %*, *Horizonte Minero*, Vol. 35, pp. 26.

C., Silvia Y M., Lucy. (Noviembre 2004). *Conflictos mineros en el peru retos y oportunidades*, *Horizonte Minero*, Vol. 24.

Escalante, E. J. (2003), *Seis Sigma: Metodología y Técnicas* (pp. 17-25). LIMUSA, Grupo Noriega Editores.

Friedenthal, E. (setiembre 1993). *Curso de capacitación Industria y Tecnología del caucho*, Universidad de Lima, pp. 1-74, Lima.

Fundación Telefónica y Gastelo, D. (2005). "Minería en el Perú- problemática del sector minero". Disponible en http://www.educared.edu.pe/estudiantes/geografia/tema3_2_2_1.asp Acceso en: 2 octubre 2006.

Heizer J. and Render B. Quinta edición (2004), *Principios de Administración de Operaciones*, Pearson Educación, pp.219-220, México.

Kuramoto, J. (2004). *Conflictos Mineros en el Perú: Retos y Oportunidades*. Disponible en http://www.grade.org.pe/asp/brw_med1.asp?id=8388. Acceso en: 31 agosto 2006.

Montgomery, D. (2002), *Análisis y Diseño de Experimentos*, Editorial LIMUSA, S. A., Balderas 95, México D.F.

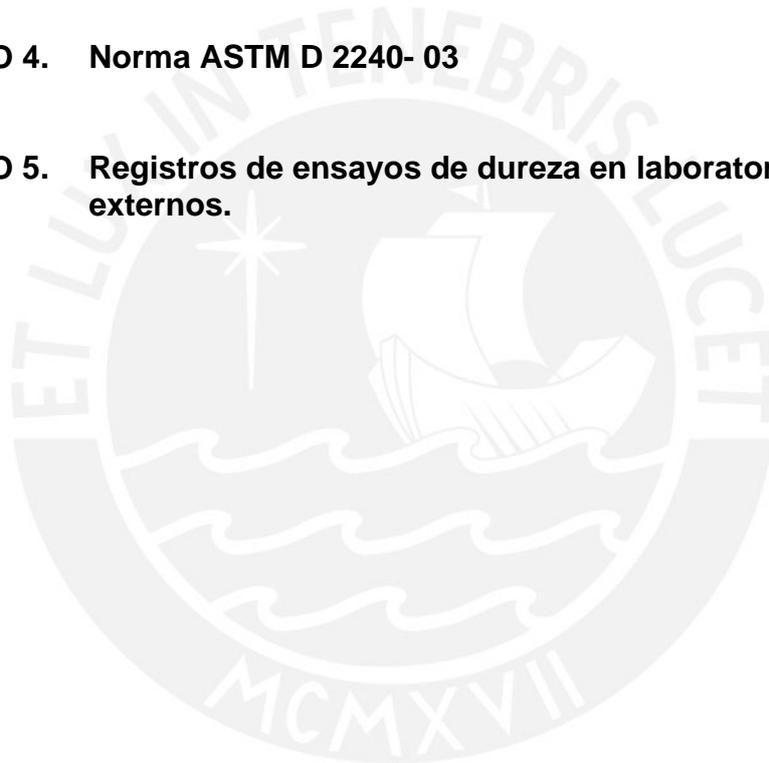
Myers, R. and Montgomery, D. (1995), *Response surface methodology: Process and product optimization using designed experiments*, John Wiley & Sons, pp. 624-637, Canada.

Nauton W. J. S (1967), *Ciencia y Tecnología del Caucho*, Compañía Editorial Continental S.A., Calzada de Tlalpan Num. 4620, México 22, D.F.

Struktol Company of America (2006). *Manual del caucho, junio 2006 (Nº 3)*, Brazil.

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.	Lista de Productos y servicios que brinda la Empresa “E”	1
ANEXO 2.	Registro de datos y cálculos correspondientes a las nueve combinaciones realizadas	7
ANEXO 3.	Esquemas de valores para el análisis EVOP de las nueve combinaciones realizadas	17
ANEXO 4.	Norma ASTM D 2240- 03	24
ANEXO 5.	Registros de ensayos de dureza en laboratorios externos.	24



ANEXOS

ANEXO 1

Lista de Productos y servicios que brinda la Empresa “E”.

- **Hidrociclones tipo Krebs:**

- Modelo D2B
- Modelo D3B
- Modelo D4B12°
- Modelo D6BB12°
- Modelo D10B
- Modelo D12B
- Modelo D15B
- Modelo D20B
- Modelo D26B

Además cuentan con:

- Repuestos para caucho natural y sintéticos (forros), muy resistente al desgaste y a la abrasión.
- Repuestos metálicos, fabricados de acero ASTM- A36 y hierro fundido gris grano fino.
- Ápex de caucho, poliuretano y cerámico importado.
- Vortex de Nihard.

- **Nidos o Baterías Lineales y /o Radiales para Hidrocilones tipo Krebs:**

El sistema incluye:

- Distribuidor de Pulpa.
- Tanque de Underflow.
- Tanque de Overflow.
- Estructura Soporte del Sistema.

- **Bombas Horizontales SRL tipo Denver**

Tamaño 1.1/2” x 1.1/4”

Además cuentan con cada uno de los repuestos para estas bombas:

- Repuestos de caucho natural, poliuretano, neoprene y sintéticos (forros).
- Repuestos metálicos.

▪ **Bombas verticales tipo Galingher:**

- Tamaño 1.1/2" x 24", 36" y 48".

Además cuentan con los repuestos para cada uno de estas bombas:

- Repuestos de caucho natural, poliuretano, neoprene y sintéticos (forros).
- Repuestos metálicos.

▪ **Válvulas Pinch.**

- Tamaño 1.1/2" x 6"

Además se cuentan para cada uno de estos tamaños con Mangas de caucho natural y sintéticos.

- **Manómetros con diafragma de glicerina** de 2", 2 ½ ", 3", 3 ½ ", 4" de diámetro de Dial, con conexión vertical de ¼".

▪ **Celdas de flotación tipo Denver**

- Tamaño N° 18Sp
- Tamaño N° 30

Se fabrican y comercializan para esta celda:

- Impulsores
- Difusores
- Fondos de piso revestidos con caucho

▪ **Celdas de Flotación AGITAIR:**

Se fabrican y comercializan para esta celda:

- Impulsores Estándar
- Impulsores Chile X
- Estabilizadores

▪ **Celdas de Flotación OUTOKUMPU:**

- Tamaño OK- 8
- Tamaño OK- 16

Se comercializan para esta celda:

- Reencauche de Rotores
- Reencauche de Estatores
- Forrados de Fondos de Piso
- Forrado de Paredes Laterales revestidos con caucho

También se comercializan:

- Repuestos para celdas WENCO (Rotor, Dispensor, Dispensor Hood)
- Repuestos para celdas DOOR OLIVER (Rotor, Estator)
- Repuestos para celdas SVEDALA (Rotor y Estator)

▪ **Planchas de caucho natural y sintético tipo LINATEX:**

Planchas Lizas:

- Espesores de fabricación: 1/8", 1/4", 3/8", 1/2", 5/8", 3/4", 7/8", 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3, 3 1/2" y 4". Dureza a solicitud del cliente.

▪ **Servicios:**

- Fabricación de Polines de carga, retorno e impacto.
- Fabricación de sellos de jebe.
- Revestimientos de tanques.
- Revestimientos de tuberías
- Recubrimiento para rodillos y/o Poleas de caucho natural y sintético.
- Cemento Vulcanizante, para utilizar en procesos de vulcanización en frío (la propiedad de este producto es que tiene buena adherencia entre caucho y caucho o caucho metal).

▪ **Molinos de Bolas:**

- Forros de caucho para molinos primarios (Tapas), secundarios y remolienda
- Spout feeder
- Scoop Fedeeder
- Trunnion liners
- Trommels
- Sellos de caucho

- **Zarandas:**
 - Mallas para zaranda (Primarios, Secundarios y Terciarios)
 - Zócalos para zarandas
 - Guardapolvos
 - Amortiguador para zarandas

- **Chancado:**
 - Plato distribuidor
 - Tubo descarga MP- 100 y HP- 700
 - Revestimiento de chutes con plancha antidesgaste
 - Guarderas laterales

- **Tuberías y accesorios:**
 - Fabricación y revestimientos de todo tipo de tuberías
 - Fabricación y revestimientos de codos, derivaciones, etc.
 - Fabricación y revestimientos de chutes, tanques, etc.

- **Mangueras:**
 - Fabricación de todo tipo de mangueras para succión y descarga de pulpas y agua, combustible y ácidos en tramos de 20 y 30 pies o en tamaños de acuerdo a la necesidad del usuario.
 - Características:
 - Tubo interior de caucho altamente resistente al desgaste y a la abrasión y desgarró.
 - Refuerzo de nylon y espiral de alambre de acero.
 - Cubierta de caucho resistente al medio ambiente, impacto, desgarró y abrasión.

ANEXO 2

Registro de datos y cálculos correspondientes a las nueve combinaciones realizadas.

Tablas de registro de datos y cálculos.

Fuente: Artiles, N. (1999). *Advanced Industrial Experimentation*. Manuscrito no publicado, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez.

EVOP S vs. WB16									
Ensayo de Dureza Nº	1, 2 ,3 y 28								
Norma de referencia	ASTM D 2240								
Fecha de Ensayo	29/05/2008 - 06/06/2008								
Ciclo Nº	1								
	Niveles		Valores de Dureza						
	Azufre	WB16	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Current Simplex	13	54	35	35	35	34	36	35	0.707
	19	75	36	36	36	36	36	36	0.000
	13	75	36	37	37	38	36	36.8	0.837
	Azufre	WB16	AVG			Overall StDev StdError de la media		0.632 0.365	
Best	13	75	36.8						
Worst	19	75	36						
Middle	13	54	35						
Delta	16	75	-			Diferencia		1.8	
Delta	3	21	-						
	Azufre	WB16	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	20.36	106.52	36	35	38	37	36	36.4	1.14

Ensayo de Dureza N° 37
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 13/06/2008
 Ciclo N° 2

	Niveles		Valores de Dureza						
	Azufre	WB16	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5	Promedio	StdDev
Current Simplex	20.36	106.52	36	35	38	37	36	36.4	1.140
	19	75	36	36	36	36	36	36	0.000
	13	75	36	37	37	38	36	36.8	0.837
	Azufre	WB16	AVG	Overall StDev		StdError de la media		0.816	
Best	13	75	36.8					0.471	
	20.36	106.52	36.4						
Worst	19	75	36						
Middle	16.68	90.76	-						
Delta	-2.32	15.76	-						
	Azufre	WB16	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.0)	9.35	85.07	32	31	32	32	32	31.8	0
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensayo de Dureza N° 46
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 20/06/2008
 Ciclo N° 3

	Niveles		Valores de Dureza						
	Azufre	WB16	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5	Promedio	StdDev
Current Simplex	9.35	85.07	32	31	32	32	32	31.8	0.447
	20.36	106.52	36	35	38	37	36	36.4	1.140
	13	75	36	37	37	38	36	36.8	0.837
	Azufre	WB16	AVG	Overall StDev		StdError de la media		0.856	
Best	13	75	36.8					0.494	
	20.36	106.52	36.4						
Worst	9.35	85.07	31.8						
Middle	16.68	90.76	-						
Delta	7.33	5.69	-						
	Azufre	WB16	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	18.23	84.51	37	37	37	37	36	36.8	0.447
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

EVOP DPG vs. ACIDO ESTEARICO

Ensayo de Dureza Nº 4, 5,6 y 29
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 29/05/2008 - 06/06/2008
 Ciclo Nº 1

	Niveles		Valores de Dureza					Promedio	StdDev
	DPG	Ácido Esteárico	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5		
Current Simplex	11	41	35	35	35	35	34	34.8	0.447
	16	56	36	36	36	36	36	36	0.000
	16	41	36	36	34	36	36	35.6	0.894
	DPG	Ácido Esteárico	AVG	Overall StdDev		StdError de la media		0.577350269	
Best	16	56	36					0.333	
Worst	11	41	34.8						
Middle	16	48.5	-						
Delta	5	7.5	-					Diferencia 1.2	
	DPG	Ácido Esteárico	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	23.49	50	36	36	36	36	36	36	0

Ensayo de Dureza Nº 38
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 13/06/2008
 Ciclo Nº 2

	Niveles		Valores de Dureza					Promedio	StdDev
	DPG	Ácido Esteárico	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5		
Current Simplex	23.49	50	36	36	36	36	36	36	0.000
	16	56	36	36	36	36	36	36	0.000
	16	41	36	36	34	36	36	35.6	0.894
	DPG	Ácido Esteárico	AVG	Overall StdDev		StdError de la media		0.516	
Best	23.49	50	36					0.298	
Worst	16	41	35.6						
Middle	19.745	53	-						
Delta	3.745	12	-					Diferencia 0.4	
	DPG	Ácido Esteárico	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.0)	24.4	64.28	34	35	34	34	35	34.4	0.577
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensayo de Dureza Nº 47
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 20/06/2008
 Ciclo Nº 3

	Niveles		Valores de Dureza					Promedio	StdDev
	DPG	Ácido Esteárico	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5		
Current Simplex	24.4	64.28	34	35	34	34	35	34.4	0.548
	16	56	36	36	36	36	36	36	0.000
	23.49	50	36	36	36	36	36	36	0.000
	DPG	Ácido Esteárico	AVG	Overall StdDev		StdError de la media		0.316	
Best	23.49	50	36					0.183	
Worst	24.4	64.28	34.4						
Middle	19.745	53	-						
Delta	-4.655	-11.28	-					Diferencia 1.6	
	DPG	Ácido Esteárico	Obs 1	Obs 2	Obs 3	Obs 4	Obs 5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	16.88	47.79	36	35	36	36	36	35.8	0
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

EVOP WB16 vs. RUBBERSIL

Ensayo de Dureza N° 7, 8, 9 y 30
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 29/05/2008 - 06/06/2008
 Ciclo N° 1

	Niveles		Valores de Dureza					Promedio	StdDev
	WB16	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5		
Current	54	249	35	35	34	36	34	34.8	0.837
Simplex	75	346	37	36	36	36	36	36.2	0.447
	75	249	36	36	34	34	34	34.8	1.095
	WB16	Rubbersil	AVG				Overall StdDev	0.837	
Best	75	346	36.2				StdError de la media	0.483	
	75	249	34.8						
Worst	54	249	34.8						
Middle	75	297.5	-						
Delta	21	48.5	-				Diferencia	1.4	
	WB16	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	31.85	292.15	36	35	36	34	34	35	1.00

Ensayo de Dureza N° 39
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 13/06/2008
 Ciclo N° 2

	Niveles		Valores de Dureza					Promedio	StdDev
	WB16	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5		
Current	54	249	35	35	34	36	34	34.8	0.837
Simplex	75	346	37	36	36	36	36	36.2	0.447
	31.85	292.15	36	35	36	34	34	35	1.000
	WB16	Rubbersil	AVG				Overall StdDev	0.796	
Best	75	346	36.2				StdError de la media	0.459	
	31.85	292.15	35						
Worst	54	249	34.8						
Middle	53.425	319.075	-						
Delta	-0.575	70.075	-				Diferencia	1.4	
	WB16	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.0)	38.03	370.66	35	35	35	34	34	34.6	0.548
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensayo de Dureza N° 48
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 20/06/2008
 Ciclo N° 3

	Niveles		Valores de Dureza					Promedio	StdDev
	WB16	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5		
Current	31.85	392.15	36	35	36	34	34	35	1.000
Simplex	75	346	37	36	36	36	36	36.2	0.447
	38.03	370.66	35	35	35	34	34	34.6	0.548
	WB16	Rubbersil	AVG				Overall StdDev	0.707	
Best	75	346	36.2				StdError de la media	0.408	
	31.85	292.15	35						
Worst	38.03	370.66	34.6						
Middle	53.425	319.075	-						
Delta	15.395	-51.585	-				Diferencia	1.6	
	WB16	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	70.12	304.52	35	35	35	36	35	35.2	0.447
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

EVOP RUBBERSIL vs. TIEMPO DE VULCANIZADO

Ensayo de Dureza Nº 25, 26,27 y 31
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 29/05/2008 - 06/06/2008
 Ciclo Nº 1

	Niveles		Valores de Dureza					Promedio	StdDev	
	Rubbersil	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5			
Current Simplex	249	15	38	38	39	38	38	38.2	0.447	
	346	25	39	38	38	38	38	38.2	0.447	
	249	25	39	39	38	38	38	38.4	0.548	
	Rubbersil	Tiempo de vulcanizado	AVG						Overall StDev	0.483
Best	249	25	38.4						StdError de la media	0.279
Worst	346	25	38.2							
Middle	249	15	38.2							
Delta	297.5	25	-						Diferencia	0.2
	48.5	10	-							

	Rubbersil	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	262.53	30	40	38	39	39	40	39.2	0.837
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensayo de Dureza Nº 40
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 13/06/2008
 Ciclo Nº 2

	Niveles		Valores de Dureza					Promedio	StdDev	
	Rubbersil	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5			
Current Simplex	262.53	30	40	38	39	39	40	39.2	0.837	
	346	25	39	38	38	38	38	38.2	0.447	
	249	25	39	39	38	38	38	38.4	0.548	
	Rubbersil	Tiempo de vulcanizado	AVG						Overall StDev	0.632
Best	262.53	30	39.2						StdError de la media	0.365
Worst	249	25	38.4							
Middle	346	25	38.2							
Delta	255.765	27.5	-						Diferencia	1
	-90.235	2.5	-							

	Rubbersil	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.0)	166.54	30.37	31	31	31	30	31	30.8	0.707
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensayo de Dureza Nº 49
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 20/06/2008
 Ciclo Nº 3

	Niveles		Valores de Dureza					Promedio	StdDev	
	Rubbersil	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5			
Current Simplex	166.54	30.37	31	31	31	30	31	30.8	0.447	
	262.53	30	40	38	39	39	40	39.2	0.837	
	249	25	39	39	38	38	38	38.4	0.548	
	Rubbersil	Tiempo de vulcanizado	AVG						Overall StDev	0.632
Best	262.53	30	39.2						StdError de la media	0.365
Worst	249	25	38.4							
Middle	166.54	30.37	30.8							
Delta	255.765	27.5	-						Diferencia	8.4
	89.225	-2.87	-							

	Rubbersil	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	299.63	25.78	34	34	34	34	33	33.8	0.707
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

EVOP S vs. TIEMPO DE VULCANIZADO

Ensayo de Dureza Nº 19, 20, 21 y 33
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 29/05/2008 - 06/06/2008
 Ciclo Nº 1

	Niveles		Valores de Dureza					Promedio	StdDev
	Azufre	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5		
Current Simplex	13	15	35	35	35	36	35	35.2	0.447
	19	25	34	34	35	35	35	34.6	0.548
	13	25	38	38	38	38	38	38	0.000
	Azufre	Tiempo de vulcanizado	AVG				Overall StDev	0.408	
Best	13	25	38				StdError de la media	0.236	
Worst	13	15	35.2						
Middle	19	25	34.6						
Delta	13	20	-				Diferencia	3.4	
	-6	-5	-						

	Azufre	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.0)	7	18.21	27	26	26	26	25	26	0.707
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensayo de Dureza Nº 55
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 25/06/2008
 Ciclo Nº 2

	Niveles		Valores de Dureza					Promedio	StdDev
	Azufre	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5		
Current Simplex	13	15	35	35	35	36	35	35.2	0.447
	13	25	38	38	38	38	38	38	0.000
	7	18.21	27	26	26	26	25	26	0.707
	Azufre	Tiempo de vulcanizado	AVG				Overall StDev	0.483	
Best	13	25	38				StdError de la media	0.279	
Worst	13	15	35.2						
Middle	7	18.21	26						
Delta	13	20	-				Diferencia	12	
	6	1.79	-						

	Azufre	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	21.99	20.91	37	37	37	38	38	37.4	0.548
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensayo de Dureza Nº 56
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 02/07/2008
 Ciclo Nº 3

	Niveles		Valores de Dureza					Promedio	StdDev
	Azufre	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5		
Current Simplex	13	15	35	35	35	36	35	35.2	0.447
	13	25	38	38	38	38	38	38	0.000
	21.99	20.91	37	37	37	38	38	37.4	0.548
	Azufre	Tiempo de vulcanizado	AVG				Overall StDev	0.408	
Best	13	25	38				StdError de la media	0.236	
Worst	21.99	20.91	37.4						
Middle	13	15	35.2						
Delta	17.495	22.955	-				Diferencia	2.8	
	4.495	7.955	-						

	Azufre	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	19.5	27.04	37	36	36	37	37	36.6	0.548

EVOP ACIDO ESTEARICO vs. TIEMPO DE VULCANIZADO

Ensayo de Dureza Nº 16, 17, 18 y 34
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 29/05/2008 - 06/06/2008
 Ciclo Nº 1

	Niveles		Valores de Dureza							
	Ácido Esteárico	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev	
Current Simplex	41	15	37	35	35	36	35	35.6	0.894	
	56	25	35	35	36	34	35	35	0.707	
	41	25	36	36	35	35	37	35.8	0.837	
	Ácido Esteárico	Tiempo de vulcanizado	AVG						Overall StDev	0.816
Best	41	25	35.8						StdError de la media	0.471
Worst	41	15	35.6							
Middle	56	25	35							
Delta	41	20	-						Diferencia	0.8
	-15	-5	-							
	Ácido Esteárico	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev	
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Trial(1.0)	26	15.92	38	37	37	36	37	37	0.707	
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Ensayo de Dureza Nº 43
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 13/06/2008
 Ciclo Nº 2

	Niveles		Valores de Dureza							
	Ácido Esteárico	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev	
Current Simplex	41	15	37	35	35	36	35	35.6	0.894	
	26	15.92	38	37	37	36	37	37	0.707	
	41	25	36	36	35	35	37	35.8	0.837	
	Ácido Esteárico	Tiempo de vulcanizado	AVG						Overall StDev	0.816
Best	26	15.92	37						StdError de la media	0.471
Worst	41	25	35.8							
Middle	41	15	35.6							
Delta	33.5	20.46	-						Diferencia	1.4
	-7.5	5.46	-							
	Ácido Esteárico	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev	
Trial(0.5)	32.01	24.56	31	32	32	32	33	32	0.707	
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Ensayo de Dureza Nº 52
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 20/06/2008
 Ciclo Nº 3

	Niveles		Valores de Dureza							
	Ácido Esteárico	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev	
Current Simplex	26	15.92	38	37	37	36	37	37	0.707	
	32.01	24.56	31	32	32	32	33	32	0.707	
	41	25	36	36	35	35	37	35.8	0.837	
	Ácido Esteárico	Tiempo de vulcanizado	AVG						Overall StDev	0.753
Best	26	15.92	37						StdError de la media	0.435
Worst	41	25	35.8							
Middle	32.01	24.56	32							
Delta	33.5	20.46	-						Diferencia	5
	1.49	-4.1	-							
	Ácido Esteárico	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev	
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Trial(1.0)	36.16	17.06	33	34	33	34	34	33.6	0.548	
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

EVOP WB16 vs. TIEMPO DE VULCANIZADO

Ensayo de Dureza Nº 13, 14, 15 y 35
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 29/05/2008 - 06/06/2008
 Ciclo Nº 1

	Niveles		Valores de Dureza							
	WB16	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev	
Current Simplex	54	15	35	35	35	35	34	34.8	0.447	
	75	25	35	36	35	35	34	35	0.707	
	75	15	34	34	34	34	34	34	0	
	WB16	Tiempo de vulcanizado	AVG						Overall StDev	0.483
Best	75	25	35						StdError de la media	0.279
Worst	54	15	34.8							
Middle	75	15	34							
Delta	64.5	20	-						Diferencia	1
	-10.5	5	-							
	WB16	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev	
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Trial(1.0)	61.45	28.68	38	37	37	37	36	37	0.707	
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Ensayo de Dureza Nº 44
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 13/06/2008
 Ciclo Nº 2

	Niveles		Valores de Dureza							
	WB16	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev	
Current Simplex	61.45	28.68	38	37	37	37	36	37	0.707	
	75	25	35	36	35	35	34	35	0.707	
	75	15	34	34	34	34	34	34	0	
	WB16	Tiempo de vulcanizado	AVG						Overall StDev	0.577
Best	61.45	28.68	37						StdError de la media	0.333
Worst	75	25	35							
Middle	75	15	34							
Delta	68.225	26.84	-						Diferencia	3
	-6.775	11.84	-							
	WB16	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev	
Trial(0.5)	73.29	33.2	32	31	31	32	31	31.4	0.548	
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Ensayo de Dureza Nº 53
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 20/06/2008
 Ciclo Nº 3

	Niveles		Valores de Dureza							
	WB16	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev	
Current Simplex	73.29	33.2	32	31	31	32	31	31.4	0.548	
	61.45	28.68	38	37	37	37	36	37	0.707	
	75	25	35	36	35	35	34	35	0.707	
	WB16	Tiempo de vulcanizado	AVG						Overall StDev	0.658
Best	61.45	28.68	37						StdError de la media	0.380
Worst	75	25	35							
Middle	73.29	33.2	31.4							
Delta	68.225	26.84	-						Diferencia	5.6
	-5.065	-6.36	-							
	WB16	Tiempo de vulcanizado	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev	
Trial(0.5)	67.79	23.01	34	34	34	34	33	33.8	0.447	
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

EVOP ACIDO ESTEARICO vs. RUBBERSIL

Ensayo de Dureza Nº 10, 11, 12 y 36
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 29/05/2008 - 06/06/2008
 Ciclo Nº 1

	Niveles		Valores de Dureza						
	Ácido esteárico	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Current	41	249	34	35	34	35	36	34.8	0.837
Simplex	56	346	36	37	37	36	36	36.4	0.548
	41	346	35	36	35	35	38	35.8	1.304
	Ácido esteárico	Rubbersil	AVG	Overall			StdDev		
Best	56	346	36.4	StdError de la media			0.949		
	41	346	35.8				0.548		
Worst	41	249	34.8						
Middle	48.5	346	-						
Delta	7.5	97	-	Diferencia			1.6		
	Ácido esteárico	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	52.18	394.51	36	37	36	36	36	36.2	0.447
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensayo de Dureza Nº 45
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 13/06/2008
 Ciclo Nº 2

	Niveles		Valores de Dureza						
	Ácido esteárico	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Current	52.18	394.51	36	37	36	36	36	36.2	0.447
Simplex	56	346	36	37	37	36	36	36.4	0.548
	41	346	35	36	35	35	38	35.8	1.304
	Ácido esteárico	Rubbersil	AVG	Overall			StdDev		
Best	56	346	36.4	StdError de la media			0.856		
	52.18	394.51	36.2				0.494		
Worst	41	346	35.8						
Middle	54.09	370.255	-						
Delta	13.09	24.255	-	Diferencia			0.6		
	Ácido esteárico	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.0)	68.82	373.82	34	34	34	33	34	33.8	0.577
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensayo de Dureza Nº 54
 Norma de referencia ASTM D 2240
 Fecha de Ensayo 20/06/2008
 Ciclo Nº 3

	Niveles		Valores de Dureza						
	Ácido esteárico	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Current	68.82	373.82	34	34	34	33	34	33.8	0.447
Simplex	52.18	394.51	36	37	36	36	36	36.2	0.447
	56	346	36	37	37	36	36	36.4	0.548
	Ácido esteárico	Rubbersil	AVG	Overall			StdDev		
Best	56	346	36.4	StdError de la media			0.483		
	52.18	394.51	36.2				0.279		
Worst	68.82	373.82	33.8						
Middle	54.09	370.255	-						
Delta	-14.73	-3.565	-	Diferencia			2.6		
	Ácido esteárico	Rubbersil	Obs_1	Obs_2	Obs_3	Obs_4	Obs_5	Promedio	StdDev
Trial(0.5)	46.53	371.07	36	36	37	38	38	37	1.000
Trial(1.0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trial(1.5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-



EVOP DPG vs. TIEMPO DE VULCANIZADO

Ensayo de Dureza Nº 22, 23, 24 y 32
Norma de referencia ASTM D 2240
Fecha de Ensayo 29/05/2008 - 06/06/2008

Trabajo publicado con autorización del autor

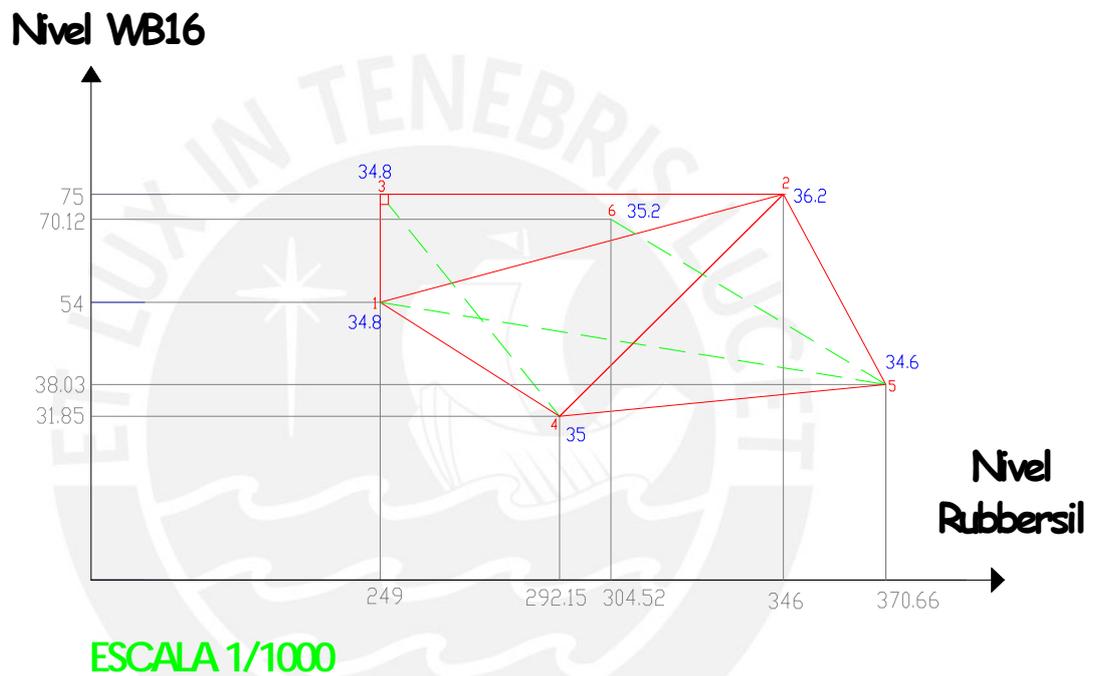
Algunos Derechos Reservados. No olvide citar esta tesis



Niveles	Valores de Dureza

ANEXO 3

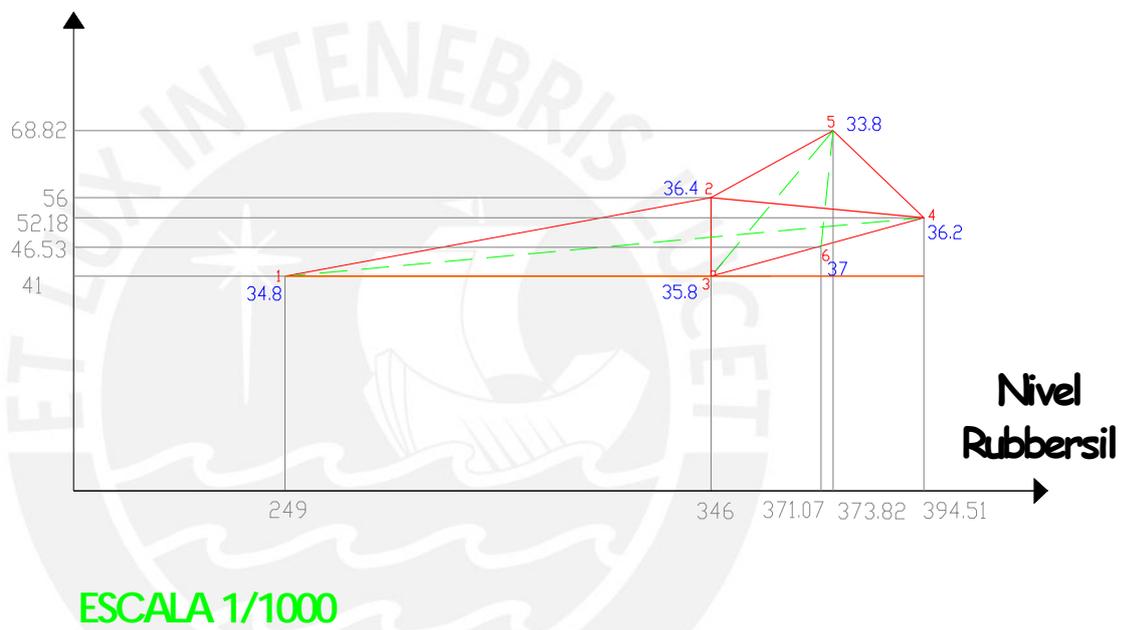
Esquema de valores para el análisis EVOP de las nueve combinaciones realizadas.



Gráfica 3.2. Esquema de valores para el análisis del EVOP Nivel de WB16 Vs. Nivel de Rubbersil.

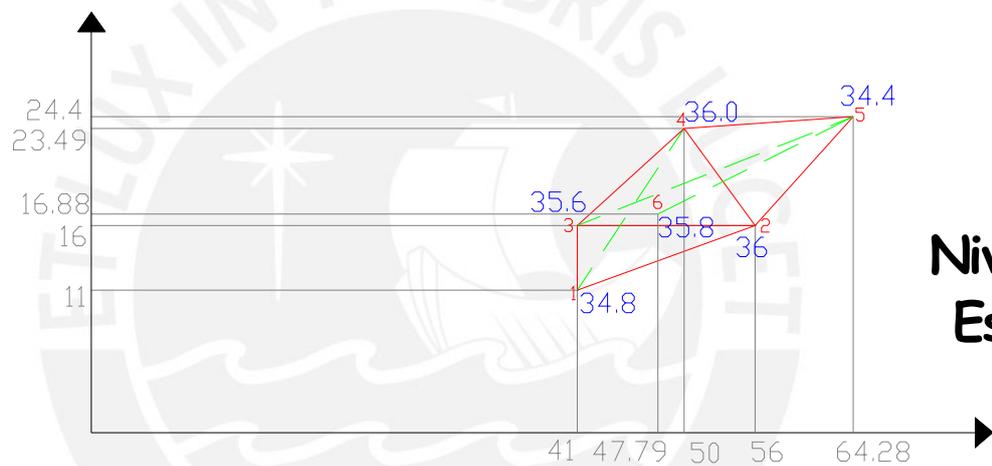
Fuente: Elaboración propia.

Nivel Ácido
Estéarico



Gráfica 3.2. Esquema de valores para el análisis del EVOP Nivel de Ácido Estéarico Vs. Nivel de Rubbersil.
Fuente: Elaboración propia.

Nivel DPG

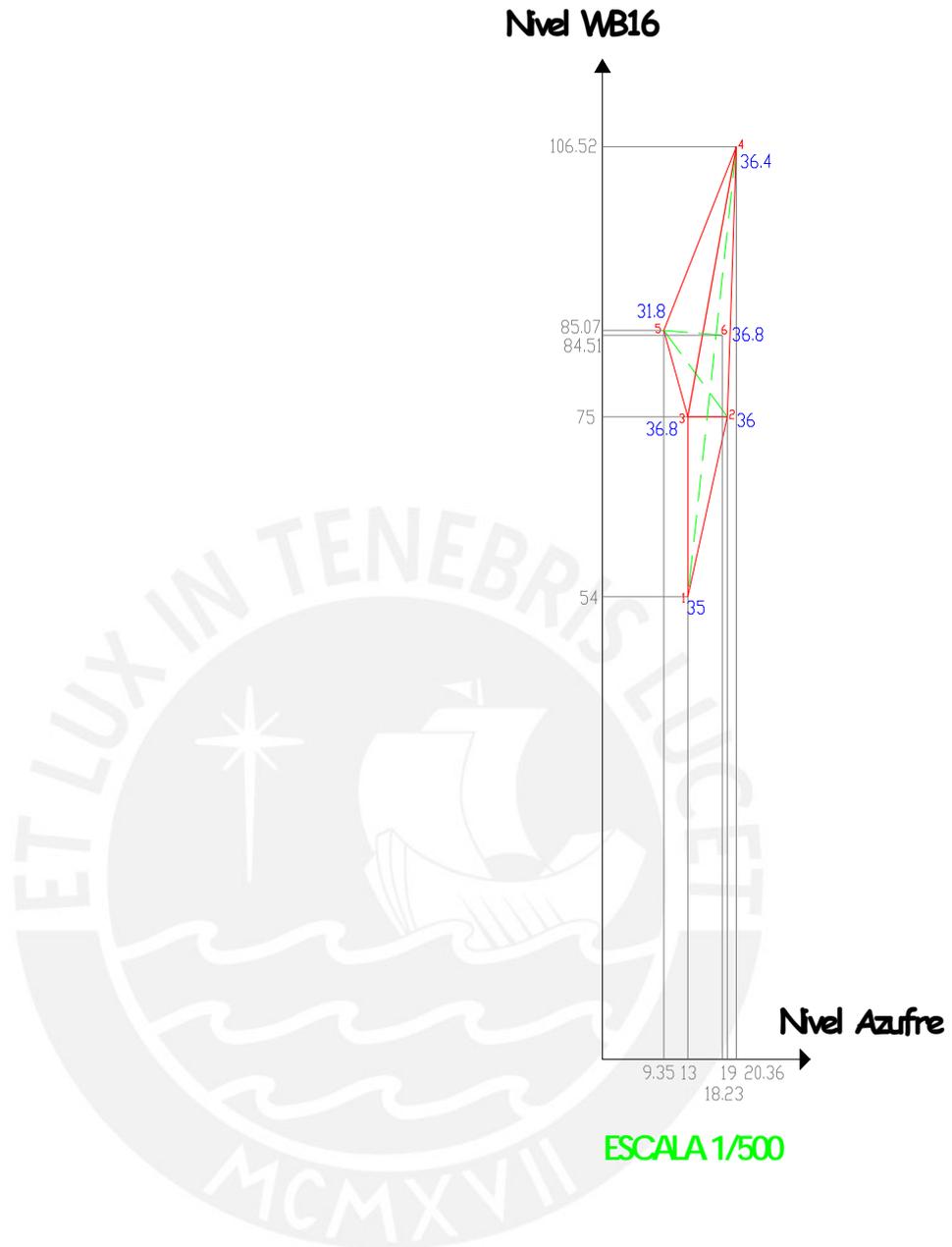


Nivel Ácido
Esteárico

ESCALA 1/500

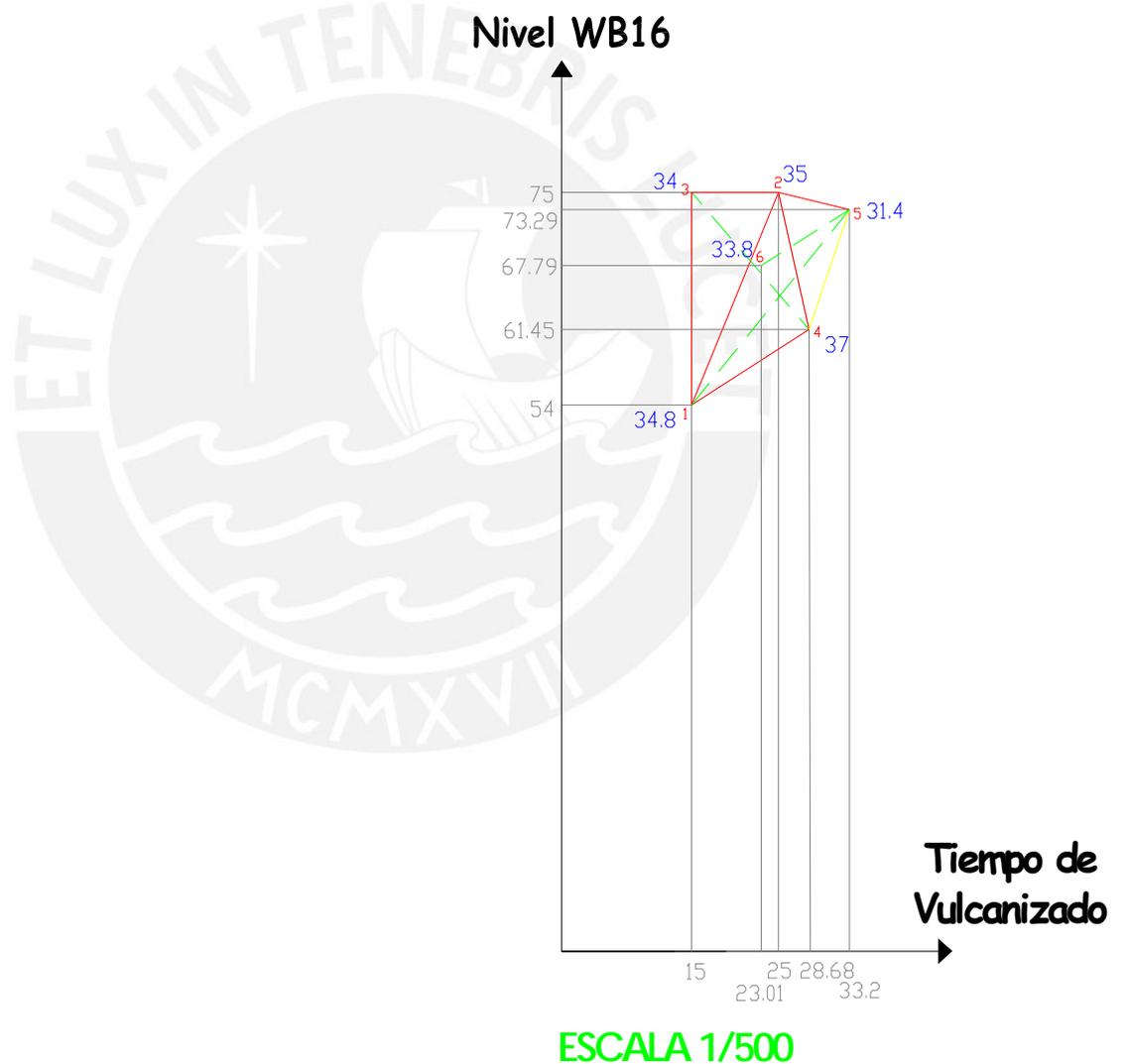
Gráfica 3.2. Esquema de valores para el análisis del EVOP Nivel de DPG Vs. Nivel de Ácido Esteárico.

Fuente: Elaboración propia.



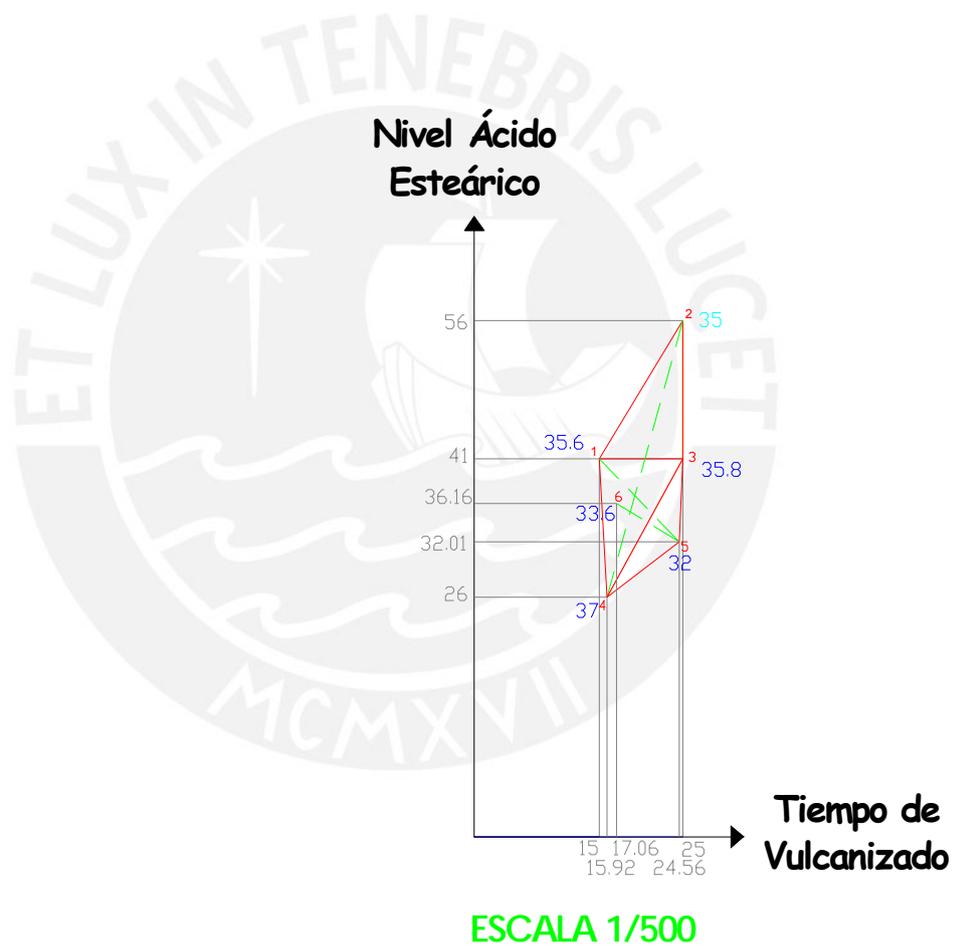
Gráfica 3.2. Esquema de valores para el análisis del EVOP Nivel de WB16 Vs. Nivel de Azufre.

Fuente: Elaboración propia.



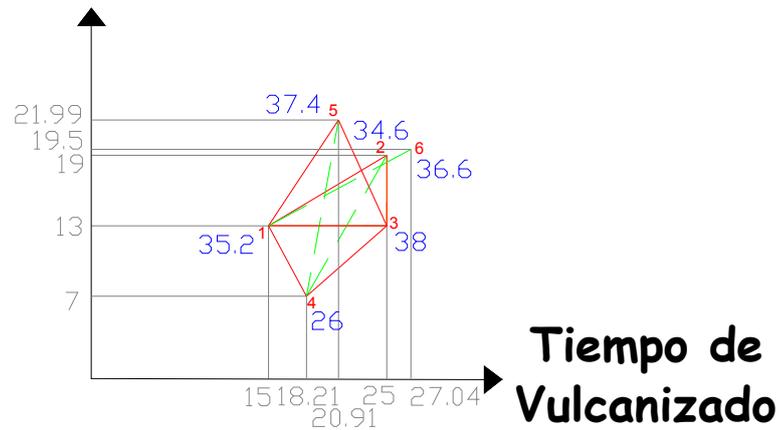
Gráfica 3.2. Esquema de valores para el análisis del EVOP Nivel de WB16 Vs. Tiempo de vulcanizado.

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 3.2. Esquema de valores para el análisis del EVOP Nivel de Ácido Esteárico Vs. Tiempo de vulcanizado.
Fuente: Elaboración propia.

Nivel Azufre

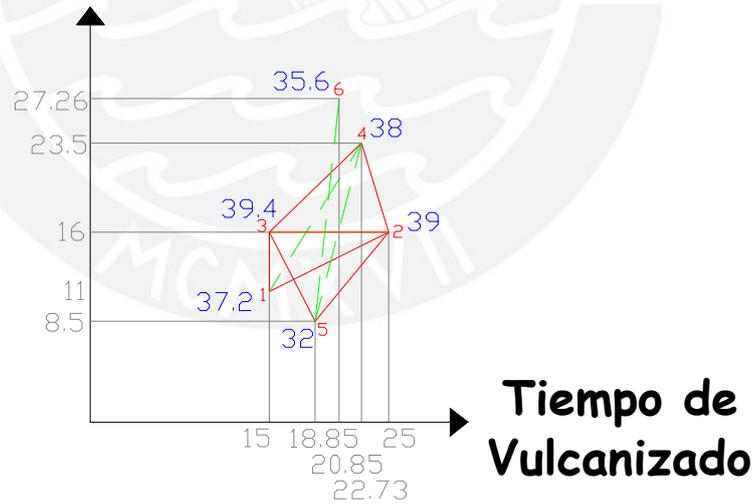


ESCALA 1/500

Gráfica 3.2. Esquema de valores para el análisis del EVOP Nivel de Azufre Vs. Tiempo de vulcanizado.

Fuente: Elaboración propia.

Nivel DPG

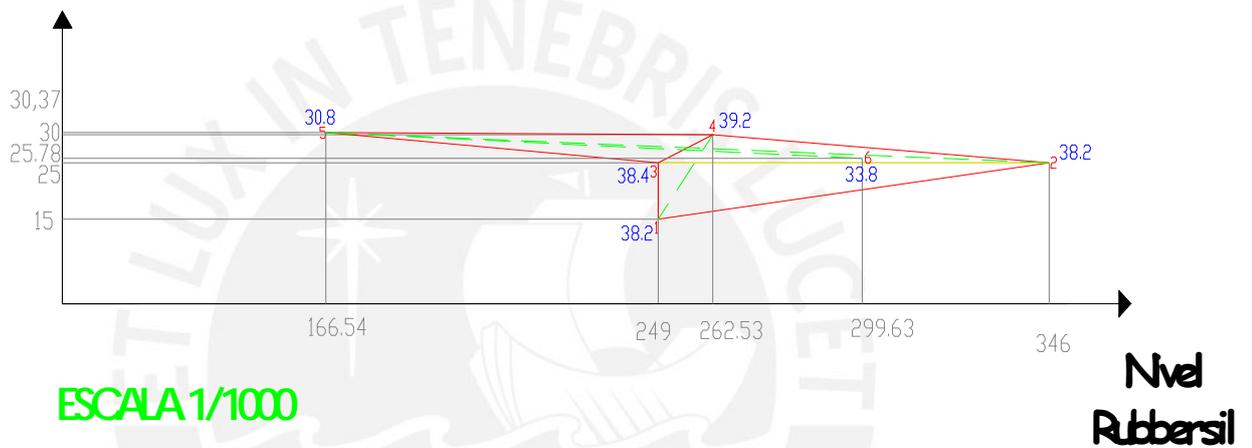


ESCALA 1/500

Gráfica 3.2. Esquema de valores para el análisis del EVOP Nivel de DPG Vs. Tiempo de vulcanizado.

Fuente: Elaboración propia.

Tiempo de Vulcanizado



Gráfica 3.2. Esquema de valores para el análisis del EVOP Tiempo de vulcanizado Vs. Nivel de Rubbersil.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 4

[Norma ASTM D2240- 03.](#)

ANEXO 5

Registros de ensayos de dureza en laboratorios externos.





COMERCIAL CONTE S.A.C.

Av. Separadora Industrial 1591 - Urb. San Francisco - Lima 3 - Perú
Telfs.: (511) 437-9475 Fax: (511) 437-9476 Nextel: 835*8207
e-mail: conte@conte.com.pe

REPORTE DE DUREZA

DATOS DEL ENSAYO

EMPRESA: EMPRESA "E"
OPERADOR: Comercial Conte S.R.L
Nro PROBETAS: 5
FECHA: 08 de Agosto del 2008
DUROMETRO : PTC Modelo 306L

COMPUESTO AZUL	
PROBETA 1	37 Shore A
PROBETA 2	37 Shore A
PROBETA 3	38 Shore A
PROBETA 4	37 Shore A
PROBETA 5	38 Shore A

Laboratorio
Ing Miriam Rey



