

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad del Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Montaje y Prueba de Resistencia de un Actuador Cilíndrico  
trabajando con un Fluido Magnetorreológico Casero”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA MECANICA**

Presentada por:

Carola Tatiana Sánchez Zurita

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2006

## **AGRADECIMIENTO**

A mi Padre, a mi Madre y a mi Hermana, por los buenos consejos y apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida.

Al Ing. Marco Pazmiño, Director de Tesis, por la paciencia y el aliento constante durante la realización de ésta.

Al Dr. J. David Carlson, Senior Engineering Fellow – Materials Business de Lord Corporation, por el respaldo e interés permanentes en esta investigación.

Al Dr. Mark Torgerson, Product Manager – Inorganic Specialties de BASF Corporation, por la ayuda y motivación para la realización de las pruebas de este trabajo.

Al Ing. Alberto Tama, por el respaldo otorgado para la ejecución de la experimentación.

Al Ing. Nicolás Andrade, Gerente General Regional de Insetec – representantes de Festo, por la colaboración desinteresada para la presentación de este proyecto.

A la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, especialmente al Ing. Eduardo Rivadeneira, a la Dra. Cecilia Paredes, al Ing. Mario Patiño, al Ing. Jorge Duque, al Sr. Marco Rojano y al Sr. Rodrigo Perugachi, por las facilidades proporcionadas para la ejecución y culminación de este estudio.

Al Instituto de Ciencias Físicas, por los instrumentos y materiales de laboratorio suministrados.

A mis amigos, Ing. Adrián Aranda y Sr. Raúl Quito, por toda la invaluable cooperación dada en la elaboración de los ensayos.

A todas las personas que de una u otra manera intervinieron en el desarrollo de esta tesis.

## **DEDICATORIA**

A mi Padre.

A mi Madre.

A mi Hermana.

Al desarrollo de la  
Experimentación, de la  
Ciencia y de la  
Tecnología.

## **DECLARACION EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Carola Tatiana Sánchez Zurita

## TRIBUNAL DE GRADUACION

---

Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Marco Pazmiño B.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Jorge Duque R.  
VOCAL

---

Ing. Mario Patiño A.  
VOCAL

## ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
CFCs	Cloro-Flúor-Carbonos
FDA	Food and Drug Administration
FER	Fluido Electrorreológico
FERs	Fluidos Electrorreológicos
FMR	Fluido Magnetorreológico
FMRs	Fluidos Magnetorreológicos
LDE	Energía Disipada de Vida del Fluido Magnetorreológico
MR	Magnetorreológico
MRs	Magnetorreológicos
N	Norte
PHC	Polvo de Hierro Carbonyl
rpm	Revoluciones por minuto
S	Sur
SAE	Society of Automotive Engineers
Valor	Factor numérico que representa una medida para calcular la viscosidad de una sustancia

## SIMBOLOGIA

A	Amperio
C	Coulombio
cP	Centipoise
dU/dy	Relación de deformación
g	gramos
I	Corriente eléctrica
J	Joule
m <sub>FE</sub>	Masa de las partículas de Hierro
ml	Mililitro
MPa	Megapascales
Q	Carga eléctrica
r	Resistencia interna de la batería
R	Resistencia externa
s	Segundos
T <sub>mezcla</sub>	Temperatura del Fluido Magnetorreológico luego de revolverlo con el mezclador
T <sub>final</sub>	Temperatura del Fluido Magnetorreológico al final de cada prueba
V	Voltio
V <sub>FE</sub>	Volumen de las partículas de Hierro
V <sub>FMR</sub>	Volumen del Fluido Magnetorreológico
W	Watt
μ <sub>FMR</sub>	Permeabilidad del Fluido Magnetorreológico
ε	Voltaje en el circuito abierto
μ	Viscosidad Dinámica o Absoluta
π	Fracción de hierro por volumen
ρ	Densidad
τ	Esfuerzo Cortante
Ω	Ohmio

## RESUMEN

Desde el inicio de los tiempos el hombre, por medio de la ciencia y la tecnología, se ha dedicado al descubrimiento y desarrollo de materiales para mejorar su nivel y calidad de vida. Por estas razones, es imperiosa la necesidad de encontrar compuestos que tengan la capacidad de sentir, actuar y controlar. Dichos compuestos son los llamados “materiales inteligentes”, los cuales tienen la facultad de cambiar sus propiedades físicas en presencia de un determinado estímulo. Un ejemplo de éstos son los Fluidos Magnetorreológicos, ampliamente conocidos y utilizados en China, Japón y Estados Unidos. Los dos primeros países usan este material principalmente en estructuras civiles; mientras que el último lo destina para la industria militar, robótica y prótesis humanas.

Los objetivos del presente trabajo son dar a conocer los Fluidos Magnetorreológicos, brindar un panorama general tanto de sus características como de sus propiedades, y demostrar su funcionamiento en una aplicación sencilla.

En la primera parte de esta tesis se definen ciertos conceptos fundamentales y generales, a fin de brindar una adecuada comprensión del tema a tratar. Se continúa con los fundamentos teóricos de los Fluidos Magnetorreológicos: su definición, historia, características, comportamiento, propiedades, vida útil, diseño y aplicaciones. Luego, se describen los materiales que forman un Fluido Magnetorreológico casero. Adicionalmente, se evalúan las propiedades magnéticas y la viscosidad de este fluido resultante con y sin campo magnético, y variando la temperatura. A continuación, se analiza el prototipo magnetorreológico propuesto: los elementos que lo forman, la prueba de resistencia de peso que soporta y su respectivo costo de operación. Finalmente, se muestran las conclusiones de este estudio. Asimismo, se anotan las respectivas recomendaciones, que se espera que puedan servir para futuras investigaciones en estas útiles y cautivantes sustancias como lo son los Fluidos Magnetorreológicos.

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VIII
SIMBOLOGIA.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE TABLAS.....	XIII
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
1. GENERALIDADES.....	4
1.1. Reología.....	4
1.2. Compuestos.....	5
1.3. Materiales Inteligentes.....	7
1.3.1. Materiales electro y magnetoactivos.....	8
1.3.2. ¿Son inteligentes los Materiales Inteligentes?.....	10
1.4. Electromagnetismo.....	11
1.4.1. Nociones de Electricidad.....	13
1.4.2. Nociones de Magnetismo.....	17

## CAPITULO 2

2.	FLUIDOS MAGNETORREOLOGICOS.....	25
2.1.	Definición.....	25
2.2.	Historia.....	26
2.3.	Diferencias entre FMRs y FERs.....	27
2.4.	Diferencias entre FMRs y Ferrofluidos.....	30
2.5.	Rol del Ingeniero Mecánico en la Investigación y Aplicación de los FMRs.....	30
2.6.	Características de un FMR.....	32
2.6.1.	Partículas Magnéticamente Polarizables.....	32
2.6.2.	Líquido Transportador.....	34
2.6.3.	Agentes Estabilizadores.....	36
2.7.	Comportamiento de un FMR.....	37
2.7.1.	Comportamiento de un FMR como un Fluido Newtoniano.....	37
2.7.2.	Comportamiento de un FMR como un Fluido No Newtoniano.....	38
2.8.	Propiedades de los FMRs.....	39
2.9.	Vida Util de un FMR.....	47
2.9.1.	Vida Operativa de un FMR.....	48
2.9.2.	Tiempo de almacenamiento de un FMR.....	48
2.10.	Diseño de dispositivos MRs.....	48

2.10.1. Geometrías Comunes.....	50
2.11. Aplicaciones de los FMRs.....	51

### CAPITULO 3

#### 3. OBTENCION EXPERIMENTAL DE UN FLUIDO

MAGNETORREOLOGICO CASERO Y DETERMINACION DE SU VISCOSIDAD BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE PRUEBA.....	52
3.1. Selección y descripción de los elementos de un FMR casero.....	52
3.2. Procedimiento experimental de mezclado.....	55
3.3. FMR resultante.....	57
3.4. Viscosidad del FMR.....	59
3.4.1. Descripción de los equipos y materiales utilizados.....	60
3.4.2. Cálculo de B, H, y $\mu$ .....	70
3.4.3. Medición de la viscosidad puntual del FMR.....	72
3.4.4. Medición de la viscosidad puntual del FMR variando la temperatura.....	81
3.4.5. Medición de la viscosidad puntual del FMR sin densidad de campo magnético.....	91

### CAPITULO 4

4. CONSTRUCCION, MONTAJE Y PRUEBA DE RESISTENCIA DE UN PROTOTIPO MAGNETORREOLOGICO.....	108
--	-----

4.1.	Características de los elementos a emplear para la construcción y montaje de un prototipo MR.....	108
4.2.	Cálculo B, H, y $\mu$ .....	117
4.3.	Procedimiento experimental.....	118
4.4.	Tabla de datos y resultados.....	120
4.5.	Análisis del resultado obtenido.....	123
4.6.	Cálculo de la potencia total disipada.....	125
4.7.	Costos de operación del actuador cilíndrico MR.....	126

## CAPITULO 5

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	131
----	-------------------------------------	-----

## APENDICES

## BIBLIOGRAFIA

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Circuito compuesto por un resistor conectado a las terminales de una batería. a) Circuito eléctrico. b) Circuito eléctrico equivalente. [6].....	16
Figura 1.2	Interacciones magnéticas. a) y b) Dos imanes de barra se atraen cuando dos polos opuestos (N y S o S y N) están próximos uno al otro. c) y d) Los imanes de barra se repelen cuando dos polos iguales (N y N o S y S) están cerca uno del otro. [5].....	18
Figura 1.3	Ruptura y separación de un imán de barra. [5].....	18
Figura 1.4	Fuerza magnética sobre una partícula cargada que se mueve con una velocidad $v$ en presencia de un campo magnético $B$ . [6].....	19
Figura 1.5	Líneas de campo magnético de la Tierra. [5].....	21
Figura 1.6	Líneas de campo magnético creadas por varias fuentes comunes de campo magnético. [5].....	22
Figura 2.1	Vista microscópica del polvo de hierro Carbonyl. [10].....	33
Figura 2.2	Comportamiento de un Fluido Newtoniano. [4].....	38
Figura 2.3	Comportamiento de un Fluido No Newtoniano. [4].....	39
Figura 2.4	Flujo de una sustancia entre placas paralelas. [2].....	41
Figura 2.5	Modos básicos de operación de los FMRs. a) Modo de presión manejada por el flujo. b) Modo de esfuerzo directo. [11].....	50
Figura 3.1	Polvo de Hierro Carbonyl grado CC.....	53
Figura 3.2	Aceite 3 en 1.....	54
Figura 3.3	Grasa Blanca de Litio.....	55
Figura 3.4	FMR agitándose en una mezcladora de pintura.....	57
Figura 3.5	Fluido Magnetorreológico resultante.....	58
Figura 3.6	Vaso de precipitación Pyrex.....	60
Figura 3.7	Bastón agitador.....	60
Figura 3.8	Termómetro.....	61
Figura 3.9	Bobina.....	62
Figura 3.10	Batería.....	63
Figura 3.11	Mezclador.....	64
Figura 3.12	Hidrómetro.....	65

Figura 3.13	Viscosímetro.....	66
Figura 3.14	Juego de Spindles.....	68
Figura 3.15	Agitador Magnético – Calentador.....	69
Figura 3.16	Multímetro.....	70
Figura 3.17	Visor de nivelación del Viscosímetro.....	72
Figura 3.18	Spindle RV-7.....	73
Figura 3.19	Selector de velocidades del Viscosímetro.....	73
Figura 3.20	Mezcla del FMR con bastón agitador.....	74
Figura 3.21	Toma de temperatura del FMR con termómetro.....	74
Figura 3.22	Agitación del FMR con mezclador.....	75
Figura 3.23	Colocación del FMR en el Viscosímetro.....	76
Figura 3.24	Colocación del spindle dentro del FMR.....	76
Figura 3.25	Viscosímetro encerado.....	77
Figura 3.26	Conexión de la bobina con la batería.....	77
Figura 3.27	Toma de viscosidad del FMR.....	78
Figura 3.28	Calentamiento del FMR.....	85
Figura 3.29	Aspecto del FMR a diferentes temperaturas. a) A 27°C. b) A 47°C. c) A 67°C. d) A 87°C.....	85
Figura 3.30	Variación de la Viscosidad Puntual del FMR con respecto a la Temperatura.....	90
Figura 3.31	Vaso de precipitación con 200 ml de aceite 3 en 1.....	92
Figura 3.31	Spindle RV-1.....	92
Figura 3.32	Toma de viscosidad del aceite 3 en 1.....	94
Figura 3.33	Spindle RV-2.....	96
Figura 3.34	Colocación del FMR en el Viscosímetro (sin bobina).....	98
Figura 3.35	Asentamiento del FMR. a) y b) Al inicio. c) A los 120 minutos. d) A los 240 minutos. e) A los 360 minutos. f) A los 480 minutos. g) A los 600 minutos. h) e i) A los 1540 minutos.....	99
Figura 3.36	Variación de la Viscosidad Puntual del FMR con respecto al Tiempo.....	106
Figura 4.1	Actuador Cilíndrico.....	109
Figura 4.2	Embolo del cilindro.....	109
Figura 4.3	Caballote del cilindro.....	111
Figura 4.4	Racor para el actuador.....	112
Figura 4.5	Manguera.....	113
Figura 4.6	Bobina del actuador.....	114
Figura 4.7	Aceiteras. a) De suministro. b) De almacenamiento.....	115
Figura 4.8	Canal.....	115
Figura 4.9	Pernos, arandelas y tuercas de sujeción.....	116
Figura 4.10	Masas Patrón.....	116
Figura 4.11	Tuerca y placa de soporte de las masas patrón.....	117
Figura 4.12	Funcionamiento del prototipo (actuador cilíndrico) MR.....	120
Figura 4.13	Prueba de resistencia del Prototipo MR. a) Con	

	1.500 gramos. b) Con 1501 gramos.....	122
Figura 4.14	Diagrama hidrostático del Prototipo MR propuesto.....	123
Figura 4.15	Cargador de Batería.....	127
Figura 4.16	Proceso de recargada de Batería.....	128

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Areas de Estudio de la Reología.....	5
Tabla 2	Tabla Comparativa de las Propiedades de FERs y FMRs.....	29
Tabla 3	Viscosidades Aproximadas de Sustancias Conocidas.....	42
Tabla 4	Tabla de Compatibilidades de ciertos FMRs con Materiales de Sellos (fabricados por Lord Corporation).....	45
Tabla 5	Especificaciones Técnicas del Termómetro.....	61
Tabla 6	Datos de la Bobina.....	62
Tabla 7	Datos de la Batería.....	63
Tabla 8	Especificaciones Técnicas del Mezclador.....	64
Tabla 9	Especificaciones Técnicas del Viscosímetro.....	67
Tabla 10	Especificaciones Técnicas del Agitador Magnético – Calentador.....	69
Tabla 11	Condiciones Iniciales para la prueba de Viscosidad Puntual del FMR.....	79
Tabla 12	Datos y Resultados obtenidos en la prueba de Viscosidad Puntual del FMR.....	80
Tabla 13	Condiciones Iniciales para la prueba de Viscosidad Puntual del FMR variando la temperatura.....	87
Tabla 14	Datos y Resultados obtenidos en la prueba de Viscosidad Puntual del FMR a 27°C.....	88
Tabla 15	Datos y Resultados obtenidos en la prueba de Viscosidad Puntual del FMR a 47°C.....	88
Tabla 16	Datos y Resultados obtenidos en la prueba de Viscosidad Puntual del FMR a 67°C.....	89
Tabla 17	Datos y Resultados obtenidos en la prueba de Viscosidad Puntual del FMR a 87°C.....	89
Tabla 18	Viscosidad Puntual del FMR variando la temperatura	
Tabla 19	Condiciones Iniciales para la prueba de Viscosidad del Aceite 3 en 1.....	95
Tabla 20	Condiciones Iniciales para la prueba de Viscosidad Puntual del FMR sin densidad del campo magnético.....	101
Tabla 21	Datos y Resultados obtenidos en la prueba de Viscosidad Puntual del FMR sin densidad de campo Magnético.....	102

Tabla 22	Especificaciones Técnicas del Actuador Cilíndrico.....	110
Tabla 23	Especificaciones Técnicas del Caballete.....	111
Tabla 24	Especificaciones Técnicas del Racor.....	112
Tabla 25	Especificaciones Técnicas de la Manguera.....	113
Tabla 26	Datos de la Bobina del Actuador.....	114
Tabla 27	Datos y Resultados de la Prueba de Resistencia del Prototipo MR propuesto.....	121
Tabla 28	Especificaciones Técnicas del Cargador de Batería.....	128

## INTRODUCCION

Las investigaciones y desarrollo de los Fluidos Magnetorreológicos comenzaron a principios de 1950. Debido al poco interés que generaron en esta época, los estudios en estas suspensiones fueron abandonados. A partir de 1990, se retomaron los análisis de estos fluidos.

En la presente tesis se muestra la descripción general y la obtención experimental de un Fluido Magnetorreológico, así como también su comportamiento bajo diferentes parámetros de medición y una aplicación práctica y sencilla.

Básicamente, un Fluido Magnetorreológico está formado por partículas de hierro, aceite de baja viscosidad y grasa. Esta mezcla sufre una transformación de estado líquido a semisólido cuando se encuentra en presencia de un campo magnético. Este cambio es el que hace que estos fluidos tengan diversas áreas de utilización, y que la viscosidad sea su propiedad más importante.

Durante el desarrollo de este trabajo, el dilema principal era la generación del campo magnético. Al principio de la experimentación, se utilizó un esquema complicado de usar, y que no brindaba resultados reales por la falta de distribución homogénea de dicho campo alrededor de la suspensión en

cuestión. Por esto, se realizaron modificaciones en el bosquejo inicial, y se optó por el uso de una bobina para la creación del magnetismo.

Con la finalidad de determinar el comportamiento de la viscosidad del Fluido Magnetorreológico, se realizaron 3 ensayos. En el primer experimento se evalúa la viscosidad en condiciones ambientales típicas promedio de la ciudad de Guayaquil, esto es una temperatura ambiental de 27°C y una humedad de 70%. Para la segunda prueba se varía la temperatura a la suspensión para verificar si existe una alteración en el valor de la viscosidad. En el tercer ensayo se muestra la variación de la viscosidad del fluido sin campo magnético con respecto al tiempo.

Teniendo una perspectiva más clara de la conducta de los Fluidos Magnetorreológicos, se procedió a construir, montar y probar un prototipo que usara estas suspensiones, que sea de bajo costo y de fácil empleo. Este modelo consiste en un actuador cilíndrico con una bobina. El objetivo de esta adaptación es comparar su funcionamiento con el de un cilindro neumático operando con un compresor de aire.

Al final de este estudio, se indican las conclusiones de las pruebas realizadas con el mencionado fluido. Además, se presentan las recomendaciones

necesarias para optimizar los aspectos experimentales cuando se trabaje con este tipo de suspensiones.

# CAPITULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. Reología.

La Reología es la ciencia de la deformación y flujo de la materia.

El término Reología fue introducido por Eugene Bingham, profesor de la Universidad de Lehigh, en 1920, por una sugerencia de Markus Reiner, inspirado por la famosa expresión de Heraclito *'panta rhei'* que quiere decir *'todo fluye'*.

Esta rama estudia las propiedades mecánicas de los gases, líquidos, plásticos, substancias asfálticas, materiales cristalinos y fluidos No Newtonianos en general. Estos materiales son incapaces de soportar un esfuerzo cortante en equilibrio estático. En este sentido, por ejemplo, un sólido plástico es un fluido.

Debido a lo anterior, es conveniente considerar a la Reología como *la descripción de un conjunto de comportamientos* en lugar de la descripción de un conjunto de materiales.

**TABLA 1**

**Areas de Estudio de la Reología**

Mecánica del Continuo	Mecánica de Sólidos	Elasticidad	
		<i>Plasticidad</i>	<i>Reología</i>
	Mecánica de Fluidos	<i>Fluidos No Newtonianos</i>	
		Fluidos Newtonianos	

La Reología tiene aplicaciones importantes en Ingeniería, Geofísica y Fisiología.

**1.2. Compuestos.**

Los compuestos son materiales que aprovechan las propiedades de dos o más materiales (metales, cerámicos y plásticos) que, al ser combinados (insolublemente) y unidos de ciertas maneras y en proporciones adecuadas, forman un nuevo material con propiedades diferentes a las de los constituyentes. Así, pueden lograrse combinaciones de propiedades que son difíciles de

obtener en materiales convencionales. Generalmente, los constituyentes se combinan en dos fases tal que las debilidades de uno de ellos se compensan con las fortalezas del otro, mejorando el desempeño global.

Un compuesto puede ser 'inteligente' si se introducen materiales 'inteligentes' en su estructura, ya sea como aparatos o en fibras. Un material inteligente es un material estructural que intrínsecamente (por su microestructura) tiene la capacidad de actuar, sentir y controlar. Similarmente, un sistema o estructura inteligente es un ensamble que presenta las mismas características, mediante la combinación de dos o más materiales. Un sistema inteligente incluye sensores y actuadores, los cuales producen cambios de forma, características mecánicas, posición o frecuencia natural cuando hay un cambio de temperatura, de campo magnético o eléctrico, y procesadores de tiempo real, que pueden controlar el sistema. Por lo tanto, los materiales compuestos inteligentes son compuestos capaces de sensor cambios en el medio circundante y responder a ellos de una manera predeterminada.

### 1.3. Materiales Inteligentes.

Los materiales inteligentes, denominados también multifuncionales, son aquellos que tienen la capacidad de cambiar sus propiedades mecánicas o físicas en presencia de un estímulo concreto.

Aunque todavía no existe un consenso sobre los límites exactos entre los materiales inteligentes y los que no lo son, existe un acuerdo en cuanto a ciertas características que deben presentar las estructuras inteligentes, las cuales son:

- De manera intrínseca o embebida, presentan sensores de reconocimiento y medida de la intensidad del estímulo ante el que reaccionará el material;
- Presentan actuadores, embebidos o intrínsecos, que responden ante dicho estímulo;
- Para controlar la respuesta de una forma predeterminada presentan mecanismos de control y selección de la respuesta;
- El tiempo de respuesta es corto;
- El sistema regresa a su estado original tan pronto como el estímulo desaparece.

Teniendo en cuenta lo anterior, se define al sistema o material inteligente como aquel que presenta sensores, actuadores y

mecanismos de control, intrínsecos o embebidos, por los cuales es capaz de sentir un estímulo, de responder ante él de una forma predeterminada en un tiempo apropiado y de volver a su estado original tan pronto como el estímulo cesa.

Los materiales inteligentes más comunes se clasifican en:

- Materiales con memoria de forma.
- Materiales electro y magnetoactivos.
- Materiales foto y cromosactivos.

Para propósitos de la presente tesis, se procederá únicamente a definir los materiales electro y magnetoactivos.

### **1.3.1. Materiales electro y magnetoactivos.**

Estos materiales experimentan cambios en sus propiedades físicas ante la presencia o aplicación de un campo eléctrico o magnético.

Entre estos materiales se encuentran los fluidos inteligentes. Dichos fluidos presentan la capacidad de cambiar su viscosidad aparente en presencia de un estímulo externo. Se dividen en dos categorías

dependiendo de la naturaleza del estímulo al que responden, mediante un cambio en sus propiedades reológicas.

**Efecto Electrorreológico** es el cambio reversible de las propiedades reológicas de un fluido debido a la aplicación de un campo eléctrico. Estos fluidos suelen clasificarse en dos tipos: fluidos formados por partículas dispersas, y fluidos homogéneos. En el primer caso, el más común, se acepta que el origen de la respuesta electrorreológica es debido a la agregación de las partículas en suspensión provocada por la polarización de los materiales. Acerca de los fluidos homogéneos, éstos se comportan de igual manera que los anteriores; pero, gracias a la ausencia de partículas, pueden llegar a ser de gran utilidad para la microtecnología permitiendo mayores miniaturizaciones.

Los **Materiales Magnetorreológicos** son aquellos cuyas propiedades reológicas pueden ser variadas mediante la aplicación de campos magnéticos. En general, un material Magnetorreológico (MR) se compone de partículas micrométricas magnéticamente permeables suspendidas en un medio no magnético. Bajo el campo magnético se

produce una polarización inducida sobre las partículas suspendidas, de manera que se forman estructuras con forma de cadena debido a la interacción entre los diferentes dipolos inducidos. Estas estructuras restringen la movilidad del fluido y, consecuentemente, se incrementa la viscosidad y se desarrolla una resistencia en la suspensión. Cuanto mayor sea el campo magnético aplicado, mayor será la energía mecánica necesaria para romper dichas estructuras; es decir, se genera una resistencia dependiente del campo.

### **1.3.2. ¿Son inteligentes los Materiales Inteligentes?.**

El desarrollo de materiales nuevos contribuye al avance tanto de la ciencia como de la tecnología; por lo cual, las estructuras inteligentes juegan un papel importante.

Las aplicaciones potenciales de los sistemas inteligentes son extensas, por lo que han despertado el interés en los campos industriales, militares, comerciales, médicos, automotores y aeroespaciales.

Pero, para demostrar que los Materiales Inteligentes son inteligentes es necesario seguir investigando, experimentando y cubriendo los campos interdisciplinarios involucrados.

#### 1.4. Electromagnetismo.

El Electromagnetismo es la ciencia que estudia los campos combinados de electricidad y magnetismo. Las leyes que rigen estos campos desempeñan un papel fundamental en la operación de todo tipo de equipos, desde radios, televisores, motores y computadoras, hasta aceleradores de alta energía y dispositivos electrónicos usados en medicina, entre otros.

Ciertos documentos ancestrales encontrados en China muestran que el magnetismo se conoció, aproximadamente, desde el año 2000 a.C. Los antiguos griegos observaron los fenómenos eléctricos y magnéticos en los años 600 a.C., cuando Tales de Mileto descubrió que al frotar un pedazo de ámbar, éste se electrificaba y atraía pedazos de paja o plumas. De aquí, que la palabra **eléctrico** proviene de la palabra griega **electrón** que significa ámbar.

La existencia de las fuerzas magnéticas se conoció al observar que pedazos de una piedra que existe en la naturaleza, llamada Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), son atraídos por el hierro.

En 1600, William Gilbert comprobó que la electrificación no se limitaba al ámbar, sino que era un fenómeno general. Los experimentos de Charles Coulomb en 1785 confirmaron los postulados de la ley que lleva su nombre.

La electricidad y el magnetismo se desarrollaron como dos ciencias independientes entre sí; hasta que a principios del siglo XIX los científicos determinaron que son fenómenos relacionados. En 1820, Hans Oersted descubrió que la aguja de una brújula se desviaba cuando se encontraba cerca de un circuito que conducía una corriente eléctrica. En 1831, el estadounidense Joseph Henry y el inglés Michael Faraday demostraron, casi simultáneamente, que cuando un alambre se mueve cerca de un imán, o viceversa, se establece una corriente eléctrica en el alambre.

En 1873, James Clerk Maxwell apoyado en las observaciones de Henry y Faraday, y de otros hechos experimentales, formuló las **Leyes del Electromagnetismo**. Estas leyes, conocidas como **las**

**ecuaciones de Maxwell**, son fundamentales para todas las formas de fenómenos electromagnéticos, y son tan importantes como las leyes de Newton del movimiento y de la gravitación. En 1888, Heinrich Hertz comprobó las predicciones de Maxwell al producir ondas electromagnéticas en el laboratorio. Esto contribuyó al desarrollo de la radio y de la televisión.

#### 1.4.1. Nociones de Electricidad

A continuación se definirán ciertos parámetros esenciales en el estudio de esta ciencia.

**Carga Eléctrica (Q):** Es una partícula cargada eléctricamente. Hay dos tipos de cargas en la naturaleza: positivas y negativas. Las cargas diferentes se atraen entre sí; y las cargas similares se rechazan unas a otras. La unidad de la carga eléctrica en el Sistema Internacional es el *Coulomb (C)*.

**Potencial Eléctrico o Voltaje (V):** El potencial eléctrico en un punto arbitrario es igual al trabajo requerido por unidad de carga para llevar una carga de prueba positiva desde el infinito hasta ese punto. Es decir, el voltaje representa la

diferencia de potencial entre un punto arbitrario y un punto en el infinito. La unidad del voltaje en el Sistema Internacional es el *Voltio (V)*:

$$1\text{ V} \equiv \frac{1\text{ J}}{1\text{ C}} \quad (1.1)$$

Es decir, 1 Joule de trabajo debe efectuarse para llevar una carga de 1 Coulombio a través de una diferencia de potencial de 1 Voltio.

***Corriente Eléctrica (I)***: Es la tasa a la cual fluyen cargas eléctricas de igual signo por una superficie perpendicular. La unidad de la corriente en el Sistema Internacional es el *Amperio (A)*:

$$1\text{ A} \equiv \frac{1\text{ C}}{1\text{ s}} \quad (1.2)$$

Esto significa que 1 Amperio de corriente es equivalente a 1 Columbio de carga que pasa por el área de la superficie en 1 segundo.

***Resistencia (R)***: Es la razón entre la diferencia de potencial a través del conductor y la corriente:

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.3)$$

La unidad de la resistencia en el Sistema Internacional es el *Ohmio* ( $\Omega$ ):

$$1\Omega \equiv \frac{1\text{V}}{1\text{A}} \quad (1.4)$$

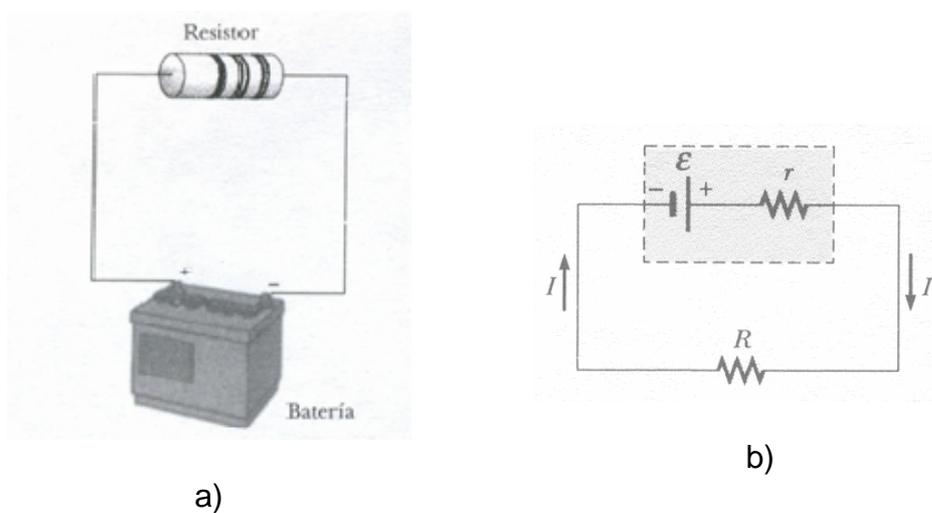
Es decir, si una diferencia de potencial de 1 Voltio a través de un conductor produce una corriente de 1 Amperio, la resistencia del conductor es 1 Ohmio.

**Potencia (*P*):** Para mantener una corriente constante en un circuito cerrado se debe utilizar una fuente de energía o una *fem* (*fuerza electromotriz*). Una fuente de fem es cualquier dispositivo (batería, generador, etc.), que produce un campo eléctrico y origina un movimiento en las cargas por un circuito.

Si se utiliza una batería para establecer una corriente eléctrica en un conductor, existe una transformación continua de energía química almacenada en la batería en energía cinética de los portadores de carga. Esta energía cinética se pierde rápidamente como consecuencia de los choques entre los portadores de carga y los átomos que integran al conductor, lo que produce un aumento en la temperatura del conductor. Es decir, la energía química

almacenada en la batería se transforma continuamente en energía térmica.

Si se conecta una batería con un resistor, se obtiene el siguiente circuito y su correspondiente circuito eléctrico equivalente:



**Figura 1.1 Circuito compuesto por un resistor conectado a las terminales de una batería. a) Circuito eléctrico. b) Circuito eléctrico equivalente. [6]**

Suponiendo que los alambres de conexión no tienen resistencia,  $\mathcal{E}$  representa el voltaje en el circuito abierto (es decir, el voltaje de las terminales cuando la corriente es cero),  $r$  es la resistencia interna de la batería,  $R$  es la resistencia externa (llamada frecuentemente resistencia de

carga), e  $I$  es la corriente del circuito. De este modo, se tiene que:

$$\varepsilon = IR + Ir \quad (1.5)$$

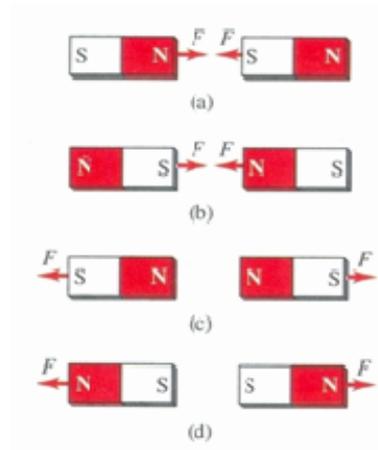
Si se multiplica la ecuación 1.5 por la corriente  $I$ , se puede escribir:

$$I\varepsilon = I^2R + I^2r \quad (1.6)$$

donde  $I\varepsilon$  es la potencia total de la fem, el término  $I^2R$  es la potencia disipada en la resistencia de carga, y la expresión  $I^2r$  es la potencia disipada en la resistencia interna. La unidad de la potencia en el Sistema Internacional es el *Watt* ( $W$ ).

#### 1.4.2. Nociones de Magnetismo.

La palabra ***magnetismo*** viene de la región de ***Magnesia*** (Asia Menor), lugar donde se encontraron fragmentos de mineral de hierro magnetizado. Estos fragmentos eran ejemplos de lo que actualmente se conoce como *imanes permanentes*. Todo imán, sin importar su forma, tiene dos polos, llamados polo magnético norte y polo magnético sur. Polos iguales se repelen entre sí; y polos diferentes se atraen entre sí.



**Figura 1.2 Interacciones magnéticas. a) y b) Dos imanes de barra se atraen cuando dos polos opuestos (N y S o S y N) están próximos uno al otro. c) y d) Los imanes de barra se repelen cuando dos polos iguales (N y N o S y S) están cerca uno del otro. [5]**

Los polos magnéticos no pueden aislarse, siempre se encuentran en pares. Todos los intentos realizados hasta ahora para detectar un monopolo magnético aislado no han tenido éxito. Independientemente de las veces que se corte un imán permanente, cada pedazo siempre tendrá un polo norte y un polo sur, incluso si los fragmentos son de diferente tamaño.

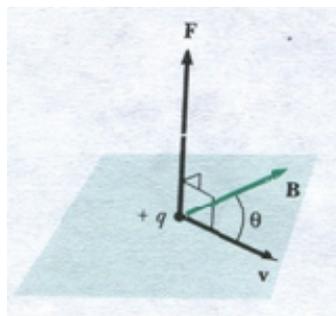


**Figura 1.3 Ruptura y separación de un imán de barra. [5]**

**Densidad de campo magnético ( $B$ ):** Para definir la densidad de campo magnético se considera una partícula de prueba cargada que se mueve con una velocidad  $v$  y pasa por un punto arbitrario. Si una fuerza desvía lateralmente a la partícula en cuestión, se dice que existe un campo magnético en el punto arbitrario. Entonces se tiene que:

$$F = q v B \text{ Sen } \theta \quad (1.7)$$

donde  $q$  es la carga de prueba,  $B$  es la densidad de campo magnético perpendicular a la fuerza, y  $\theta$  es el ángulo más pequeño entre la velocidad y el campo magnético.



**Figura 1.4 Fuerza magnética sobre una partícula cargada que se mueve con una velocidad  $v$  en presencia de un campo magnético  $B$ . [6]**

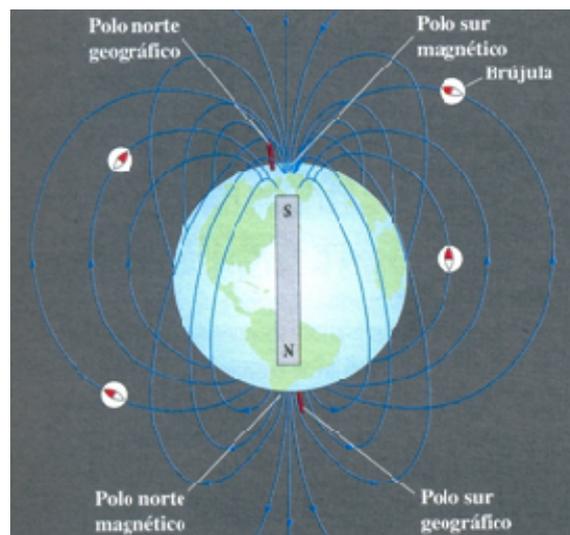
La unidad de la densidad de campo magnético en el Sistema Internacional es el *Weber por metro cuadrado* ( $Wb/m^2$ ), llamada también Tesla (T):

$$[B] \equiv T \equiv \frac{Wb}{m^2} = \frac{N}{C \cdot m/s} = \frac{N}{A \cdot m} \quad (1.8)$$

Esto es, una carga de 1 Coulombio que se mueve a través de una densidad de campo magnético de 1 Tesla con una velocidad de 1 m/s perpendicular al campo, experimenta una fuerza de 1 Newton.

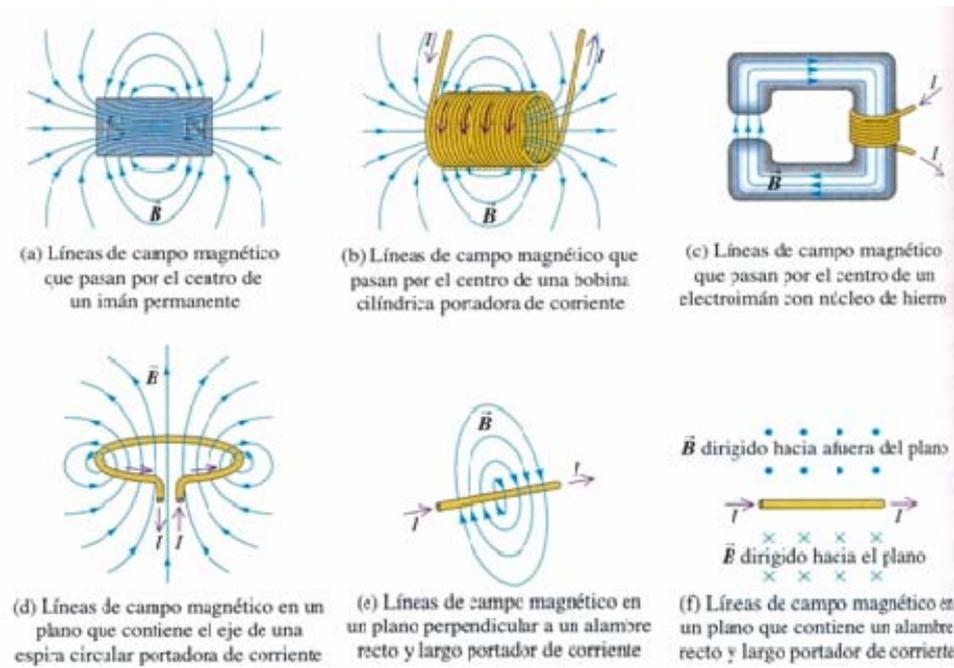
El campo magnético de la Tierra, en un punto cercano a su superficie, es de aproximadamente  $0.5 \times 10^{-4} T$ . Existen campos magnéticos en el orden de 10 T en el interior de los átomos, y son importantes en el análisis de los espectros atómicos. El campo magnético estable más grande que se puede crear actualmente en un laboratorio es de aproximadamente 45 T. Ciertos electroimanes de corriente pulsante producen campos de hasta 120 T durante intervalos de 1 milisegundo. Se piensa que el campo magnético en la superficie de una estrella de neutrones es de  $10^8 T$ .

La densidad de campo magnético se puede representar por medio de líneas. A continuación se ilustran las líneas de campo magnético de la Tierra. Si empleamos una brújula, un extremo de la aguja buscará o apuntará hacia el polo geográfico norte de la Tierra, en la dirección de la línea de campo presente en ese lugar. Sabiendo que polos opuestos se atraen, se concluye que el polo magnético norte se localiza cerca del polo geográfico sur, y que el polo magnético sur se localiza cerca del polo geográfico norte.



**Figura 1.5 Líneas de campo magnético de la Tierra. [5]**

La siguiente figura muestra las líneas generadas por varias fuentes comunes de campo magnético:



**Figura 1.6 Líneas de campo magnético creadas por varias fuentes comunes de campo magnético. [5]**

**Permeabilidad del medio ( $\mu$ ):** Es una constante de proporcionalidad. Puede definirse como la medida de la capacidad para establecer líneas de flujo magnético. Cuanto más grande sea la permeabilidad del medio, mayor será el número de líneas de flujo que pasarán por unidad de longitud.

La *permeabilidad del espacio libre* (el vacío) se denota mediante  $\mu_0$ :

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A} \quad (1.9)$$

La permeabilidad para cualquier material está dada por:

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H} \quad (1.10)$$

donde **H** es la intensidad de campo magnético.

Los materiales magnéticos se clasifican conforme a sus permeabilidades comparadas con la del espacio vacío. La razón de la permeabilidad de un material con la correspondiente para el vacío se llama *permeabilidad relativa* ( $\mu_r$ ), y está expresada por:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (1.11)$$

De acuerdo a esto se tienen:

*Materiales Diamagnéticos.*- Su permeabilidad relativa es ligeramente menor a la unidad. Tienen la propiedad de poder ser repelidos débilmente por un imán potente.

*Materiales Paramagnéticos.*- Presentan una permeabilidad ligeramente mayor que la del vacío. Son atraídos débilmente por un imán poderoso.

*Materiales Ferromagnéticos.*- Muestran permeabilidades extremadamente altas, comprendidas desde pocos cientos a miles de veces la del vacío. Estos materiales son atraídos fuertemente por un imán. Se encuentran el hierro, cobalto, níquel, acero y aleaciones de éstos.

***Intensidad de campo magnético (H):*** Representa una magnitud que sirve para expresar un campo magnético cualquiera. Tiene la particularidad de ser independiente de la naturaleza del medio magnético. Es directamente proporcional al número de líneas establecidas y a la corriente del circuito, e inversamente proporcional a la longitud:

$$H = \frac{NI}{L} \quad (1.12)$$

La unidad de la intensidad de campo magnético en el Sistema Internacional es *Amperio por metro (A/m)*.

# CAPITULO 2

## 2. FLUIDOS MAGNETORREOLOGICOS

### 2.1. Definición.

Los Fluidos Magnetorreológicos, o FMRs, son suspensiones no coloidales, compuestas por partículas micrométricas magnetizables, suspendidas en líquidos no magnéticos. Estos fluidos muestran cambios dramáticos en sus propiedades reológicas como resultado de una magnetización inducida en las partículas cuando se aplica un campo magnético.

Las interacciones entre los dipolos inducidos resultantes hacen que las partículas produzcan estructuras en forma de cadenas paralelas al campo, lo cual incrementa la resistencia a fluir del FMR.

Al restringirse el movimiento del fluido, se incrementa la viscosidad y se desarrolla una resistencia en la suspensión; de tal manera que mientras mayor sea el campo magnético empleado, mayor será la energía mecánica necesaria para romper las estructuras formadas. En otras palabras, el cambio generado se manifiesta por el desarrollo del esfuerzo a la fluencia, que crece a medida que aumenta el campo aplicado.

Todo este proceso ocurre en un tiempo de respuesta en el orden de los milisegundos y es reversible.

La importancia de los FMRs radica en su habilidad de suministrar interfaces sencillas, silenciosas y de respuestas rápidas entre controles electrónicos y sistemas mecánicos.

## **2.2. Historia.**

El descubrimiento inicial de los FMRs y el desarrollo de dispositivos que usan estas suspensiones se le atribuye a *Jacob Rabinow* del United States National Bureau of Standards, hechos entre 1948 y 1951. Casualmente, estas investigaciones se presentaron en la misma época que Willis Winslow expuso sus trabajos sobre los Fluidos Electrorreológicos, o FERs.

A finales de la década del 40 y principios de la del 50, se patentaron y se expusieron más publicaciones relativas a los FMRs que a los FERs.

A pesar del auge de los FMRs, poco tiempo después perdieron interés y ya casi no se publicaba información sobre éstos.

Recientemente ha habido un resurgimiento en el estudio de los FMRs por parte de la comunidad científica. Investigadores tales como E. M. Shtarkman, W. Kordonsky, K. D. Weiss y J. David Carlson se han dedicado a desarrollar equipos y sistemas que usen estas suspensiones y tengan aplicaciones industriales.

### **2.3. Diferencias entre FMRs y FERs.**

Típicamente, un FER consiste en una dispersión de partículas sólidas dentro de un aceite aislante.

Willis Winslow, en sus experimentos iniciales, usó partículas sólidas de almidón, piedra, cal, yeso, carbón y silica; las cuales las dispersó en aceites aislantes minerales, parafina y queroseno. Al usar estos tipos de materiales, Winslow fue capaz de demostrar que la resistencia a fluir de ciertos FERs podría aumentar

significativamente por la aplicación de un campo eléctrico de suficiente intensidad. Desafortunadamente, reportes recientes del rendimiento de estos fluidos señalan que son abrasivos, químicamente inestables y propensos a sufrir rápido deterioro.

Por otro lado, los FMRs están formados por partículas microscópicas de un material magnético, dispersadas en un líquido lubricante transportador.

Los dos tipos de fluidos pueden operar directamente desde suministros de poder de bajo voltaje y son menos sensibles a los contaminantes y temperaturas extremas.

Pero, a pesar de que ambas suspensiones tienen características comunes, la principal diferencia en el comportamiento de éstas radica en la magnitud de las fuerzas que son desarrolladas. Los FMRs son 20 a 50 veces más fuertes que los FERs. Además, las diferencias significativas en su operación son de vital importancia cuando se consideran las aplicaciones comerciales.

A continuación se muestra una tabla comparativa de las propiedades típicas de los fluidos Magnetorreológicos y Electrorreológicos.

**TABLA 2**

**Tabla Comparativa de las Propiedades de FERs y FMRs**

<b><i>Propiedad</i></b>	<b><i>FER</i></b>	<b><i>FMR</i></b>
Esfuerzo de Fluencia	2 – 5 kPa Campo limitado por corto circuito	50 – 100 kPa Campo limitado por saturación
Viscosidad (sin campo)	0.2 – 0.3 Pa-s @ 25°C	0.2 – 0.3 Pa-s @ 25°C
Temperatura de Operación	10°C a 90° (iónico, DC) -25°C a 125°C (no iónico, AC)	-40°C a 150°C (limitado por el fluido transportador)
Densidad de corriente	2 – 15 mA/cm <sup>2</sup> @ 25°C)	Puede ser energizado con imanes permanentes
Gravedad específica	1 – 2.5	3 – 4
Materiales auxiliares	Cualquiera (superficie conductiva)	Hierro, acero
Color	Cualquiera, opaco o transparente	Café, negro, gris opaco

#### **2.4. Diferencias entre FMRs y Ferrofluidos.**

Los ferrofluidos son usualmente confundidos con los FMRs.

Ambos son suspensiones de partículas de hierro dispersas en aceite. La diferencia está en el tamaño de dichas partículas: en los FMRs son micrométricas ( $1 \times 10^{-6}$  m) y de hierro puro; mientras que en los ferrofluidos son nanométricas ( $1 \times 10^{-9}$  m) y de óxido de hierro.

Los ferrofluidos, por tener partículas muy pequeñas, fluyen cuando son atraídos por un campo magnético. Incluso en presencia de un campo muy fuerte, siempre permanecen en estado líquido.

#### **2.5. Rol del Ingeniero Mecánico en la Investigación y Aplicación de los FMRs.**

Dadas las extensas ramas de aplicación de la Ingeniería Mecánica, los FMRs representan un campo de estudio importante que, actualmente, se está desarrollando a pasos agigantados.

Para desarrollar Sistemas Dinámicos Inteligentes se necesitan también de la Ingeniería Química. Esta ciencia se encarga del

desarrollo del fluido; es decir, que presente las siguientes características:

- Efecto Magnetorreológico más fuerte.
- Mayor estabilidad.
- Menor sedimentación.
- Amplio rango de temperaturas de operación.

Junto con la Ingeniería Mecánica se ocupan de estudiar la clasificación del comportamiento reológico de estas suspensiones, y seleccionar la conducta adecuada para cada aplicación industrial específica.

El Ingeniero Mecánico es el encargado de realizar las pruebas correspondientes en los modelos de dispositivos propuestos, y analizar los datos obtenidos; de acuerdo con las necesidades y requerimientos de las compañías solicitantes.

Las principales áreas de servicio de los FMRs son:

- ◆ Aislamiento de Vibración (puentes, edificios, vehículos, etc.).
- ◆ Frenos.
- ◆ Transferencia de torque.
- ◆ Actuadores.

## **2.6. Características de un FMR.**

Los tres elementos básicos que conforman un FMR son:

- Partículas magnéticamente polarizables.
- Un líquido transportador.
- Agentes estabilizadores.

A continuación se describirán cada uno de los materiales mencionados.

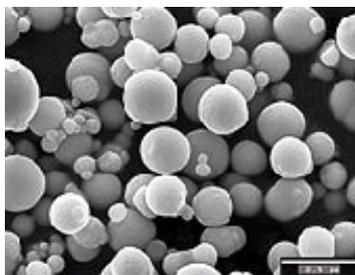
### **2.6.1. Partículas Magnéticamente Polarizables.**

Los FMRs son típicamente formulados usando polvo de hierro Carbonyl (PHC).

El PHC es producido por la descomposición térmica del hierro pentacarbonyl,  $\text{Fe}(\text{CO})_5$ , el cual es altamente purificado por destilación. Durante el proceso de descomposición las partículas esféricas forman un núcleo, por esta razón se desarrolla una estructura de cascarón.

Las condiciones iniciales de este proceso químico determinan las propiedades del PHC, las cuales son:

- Partículas de estructura esférica, sin porosidades.
- Distribución del tamaño de la partícula (diámetro primario de 1 a 8 micrones, dependiendo del requerimiento del dispositivo).
- Alta pureza química (contenido de hierro arriba de 99.5%).
- Bajas impurezas de metales (Silicio, menos de 10 ppm de metales pesados).
- Control del contenido de carbón dentro de las tolerancias adecuadas.
- Alta consistencia.



**Figura 2.1 Vista microscópica del polvo de hierro Carbonyl. [10]**

La fuerza máxima desarrollada por un FMR está directamente relacionada con la cantidad de hierro en el fluido. Mientras más hierro haya, mayor es la fuerza alcanzada. También el contenido de hierro afecta

directamente al esfuerzo a la fluencia del fluido cuando esta sometido a un campo magnético dado.

Para proteger la superficie de las partículas contra el desgaste y la abrasión se utilizan lubricantes, a fin de mantener la tolerancia recomendada entre las caras deslizantes.

Para prevenir el asentamiento, se añade un material que forme redes para evitar esta situación.

### **2.6.2. Líquido Transportador.**

Dependiendo de la compatibilidad con sellos, rangos de temperatura de operación y aplicaciones, el líquido transportador puede ser agua, hidrocarburos (mineral o sintético) o aceite de silicona.

Si se va a trabajar con un sistema sellado o con un dispositivo que se pueda rellenar, se recomienda emplear los **FMRs a base de agua**, ya que son fáciles de limpiar y contienen ingredientes aprobados por la FDA (Food and Drug Administration).

Si se va a diseñar un dispositivo no sellado y donde la evaporación del agua podría ser un problema, se sugiere utilizar los **FMRs a base de hidrocarburos**, ya sean minerales o sintéticos. Comúnmente este tipo de líquido transportador es el predilecto, ya que los aceites son buenos lubricantes, son durables, muy estables y están disponibles en un amplio rango de viscosidades. Dentro de este grupo, los más usados son los aceites sintéticos polialfaolefinas. Sin embargo, si se escogió experimentar con aceite mineral, se advierte no manejar hule orgánico o temperaturas extremas.

Cabe indicar que la viscosidad del aceite es la propiedad más importante en un FMR. En general se prefiere aceites de viscosidad baja, porque hacen más fluyente al FMR cuando no está energizado. Otra propiedad importante del aceite es su presión de vapor baja, puesto que el fluido no se evaporará y podrá ser usado en un vasto rango de temperaturas.

Si se requiere un buen desempeño en un rango de temperaturas entre 40°C y 100°C, se aconseja usar los

**FMRs a base de aceite de silicona.** No obstante, es importante tomar en cuenta que la silicona es muy difícil de sellar.

En el Apéndice A se encuentra una tabla comparativa de ciertos FMRs con distintos líquidos base fabricados por Lord Corporation.

### **2.6.3. Agentes Estabilizadores.**

Son aditivos que ayudan a prevenir que las partículas de hierro densas se asienten apresuradamente y formen sedimentos fuertes que sean difíciles de mezclar.

En muchos FMRs las partículas de hierro tienden a asentarse, dejando una capa de líquido transportador en la superficie del recipiente o dispositivo portante. Los agentes estabilizadores inhiben el inevitable asentamiento gravitacional y mantienen a los sedimentos suaves. También son usados para mejorar la durabilidad y resistencia a la corrosión.

Los más simples son los jabones metálicos, como estearato de litio o estearato de aluminio. Estos químicos son añadidos a los aceites para formar las grasas.

## **2.7. Comportamiento de un FMR.**

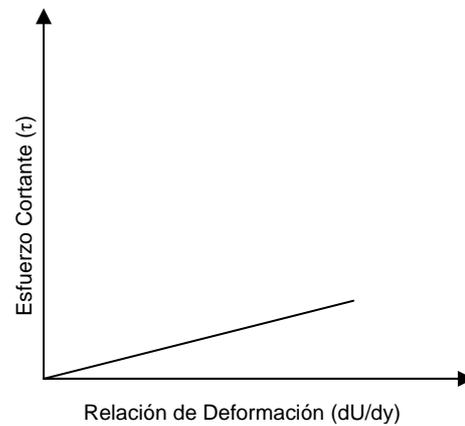
Los FMRs varían su comportamiento y consistencia de acuerdo a la ausencia o aplicación de un determinado campo magnético. De aquí se tiene que un FMR actúa como un Fluido Newtoniano o como un Fluido No Newtoniano.

### **2.7.1. Comportamiento de un FMR como un Fluido Newtoniano.**

Un FMR presenta esta conducta cuando no existe un campo magnético aplicado. Su consistencia es similar a la de un aceite de motor.

Se dice que un Fluido es Newtoniano cuando el esfuerzo cortante ( $\tau$ ) es directamente proporcional a la relación de deformación ( $dU/dy$ ) en la dirección perpendicular al plano del esfuerzo.

El agua y la glicerina son ejemplos de Fluidos Newtonianos.



**Figura 2.2 Comportamiento de un Fluido Newtoniano. [4]**

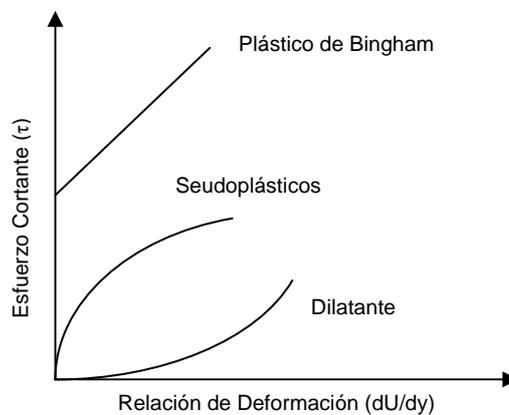
### **2.7.2. Comportamiento de un FMR como un Fluido No Newtoniano.**

Un FMR actúa de esta manera cuando se está aplicando un campo magnético. Su consistencia es similar a la mantequilla de maní.

Un fluido es No Newtoniano cuando el esfuerzo cortante ( $\tau$ ) no es directamente proporcional a la relación de deformación ( $dU/dy$ ).

Los tipos más comunes de Fluidos No Newtonianos son los Seudoplásticos (soluciones poliméricas, suspensiones

coloidales, pulpa de papel en agua), Dilatantes (suspensiones de almidón y de arena) y los Plásticos de Bingham (suspensiones de arcilla, lodos de perforación, pasta de dientes, FMRs).



**Figura 2.3 Comportamiento de un Fluido No Newtoniano. [4]**

## 2.8. Propiedades de los FMRs.

### Propiedades Reológicas.

Dependen de la concentración y densidad de las partículas, del tamaño de la partícula y su perfil de distribución, de las propiedades del líquido transportador, de los aditivos adicionales, del campo aplicado, de la temperatura, etc.

La relación entre estos factores es muy compleja; sin embargo, es importante establecer metodologías para optimizar el rendimiento de los FMRs para aplicaciones específicas.

También es necesario considerar la viscosidad del fluido en ausencia de un campo magnético, ya que ésta es una función del líquido transportador, de los agentes de suspensión y de las características físicas de las partículas.

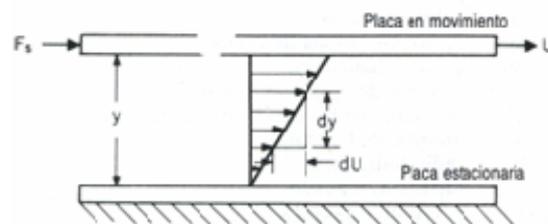
**Viscosidad:** Es la resistencia que presenta un fluido al movimiento provocado por una fuerza cortante; es su fricción interna. Esta resistencia se debe a la cohesión de las moléculas y a la transferencia molecular de una capa a otra, lo que establece un esfuerzo tangencial o cortante.

La viscosidad de las sustancias varía de acuerdo al estado de la materia y a la temperatura a la cual se encuentra. En los **líquidos** predomina la cohesión; y cuando ésta disminuye al aumentar la temperatura, también disminuye la viscosidad. En los **gases** la cohesión es relativamente débil; como consecuencia, la mayor actividad molecular que se produce al aumentar la temperatura provoca un incremento en la transferencia molecular, con el

correspondiente aumento en la viscosidad. En los **sólidos** la cohesión es muy fuerte, por lo que la viscosidad tiende al infinito.

Existen dos clases de viscosidad: dinámica (o absoluta) y cinemática. Sólo se definirá la viscosidad dinámica por ser objeto de estudio del presente trabajo.

*Viscosidad Dinámica o Absoluta ( $\mu$ ):* Es la relación del esfuerzo cortante ( $\tau$ ) a la razón de deformación ( $dU/dy$ ). Ilustrando esta definición, se tiene:



**Figura 2.4 Flujo de una sustancia entre placas paralelas. [2]**

Entonces se puede escribir que:

$$\mu = \frac{\tau}{(dU/dy)} \quad (2.1)$$

La unidad más común que se utiliza para expresar la viscosidad dinámica es el *Centipoise (cP)*.

La siguiente tabla presenta la viscosidad aproximada de ciertas sustancias conocidas.

TABLA 3

## Viscosidades Aproximadas de Sustancias Conocidas

<i>Material</i>	<i>Viscosidad Aproximada (cP)</i>
Agua @ 21°C	1 a 5
Sangre o Kerosene	10
Anticongelante	15
Aceite de motor SAE 10 o Aceite de maíz	50 a 100
Aceite de motor SAE 30 o Sirope	150 a 200
Aceite de motor SAE 40 o Aceite de Castor	250 a 500
Aceite de motor SAE 60 o Glicerina	1.000 a 2.000
Miel	2.000 a 3.000
Melaza	5.000 a 10.000
Sirope de chocolate	10.000 a 25.000
Salsa de tomate o Mostaza	50.000 a 70.000
Pasta de tomate o Mantequilla de maní	150.000 a 250.000
Manteca de cerdo	1'000.000 a 2'000.000
Empaste para pared	5'000.000 a 10'000.000
Masilla para ventana	100'000.000

**Propiedades Magnéticas.**

Es necesario entenderlas para diseñar un dispositivo basado en FMRs.

En muchos equipos, los FMRs representan la mayor reluctancia (resistencia al flujo magnético) dentro de un circuito magnético.

Estas propiedades también contribuyen a comprender el carácter y la formación de las estructuras de las partículas dentro del fluido.

**Lubricidad:** En general, los FMRs son ligeramente abrasivos. No obstante, para que esta condición afecte la durabilidad de estos compuestos depende de ciertos factores asociados con la composición del fluido y el diseño del dispositivo. Las bandas y otros materiales de cojinetes, que están en contacto corredizo con FMRs, son comúnmente áreas de abrasión crítica. La capacidad de los FMRs para lubricar las superficies corredizas se reflejará en la predisposición al desgaste de dichas áreas.

**Asentamiento:** En escalas micrométricas, donde la diferencia de densidad entre una partícula y el fluido circundante existe, el

asentamiento en los FMRs debe ser considerado mientras se lo está formulando.

La aplicación específica determina la cantidad de asentamiento que debe ser controlada y como debe ser medida.

En general, el asentamiento está regido por el carácter reológico del medio de suspensión, las propiedades superficiales de las partículas magnéticas y la presencia de agentes superficiales activos. En un dispositivo, el asentamiento puede estar ligeramente influenciado por la presencia de campos remanentes, la orientación y la geometría del equipo.

**Compatibilidad:** La siguiente tabla muestra la compatibilidad de ciertos FMRs con materiales típicos de sellos.

TABLA 4

**Tabla de Compatibilidades de ciertos FMRs con Materiales de Sellos  
(fabricados por Lord Corporation)**

<b><i>Fluido Reonético</i></b>	<b><i>Líquido Base</i></b>	<b><i>Fluoro-elastómero</i></b>	<b><i>Hierro</i></b>	<b><i>Acero Inoxidable</i></b>
<b><i>MRF-336AG</i></b>	Silicona	Buena	Buena	Buena
<b><i>MRF-122-2ED</i></b>	Hidrocarburo	Buena	Buena	Buena
<b><i>MRF-132AD</i></b>	Hidrocarburo	Buena	Buena	Buena
<b><i>MRF-132LD</i></b>	Hidrocarburo	Buena	Buena	Buena
<b><i>MRF-240BS</i></b>	Agua	Buena	Buena	Buena
<b><i>MRF-241ES</i></b>	Agua	Buena	Buena	Buena

**Temperatura de Operación:** Este rango depende del líquido transportador del FMR.

Los fluidos basados en aceite pueden trabajar en intervalos de -40°C a 130°C; los basados en silicona operan entre -40°C a 150°C; y los basados en agua se emplean para temperaturas entre -10°C a 70°C.

A muy bajas temperaturas, por ejemplo a  $-40^{\circ}\text{C}$ , los fluidos basados en agua se vuelven un poco sólidos; los basados en aceite se tornan extremadamente viscosos, pero siguen siendo fluidos; y los basados en silicona presentan poco cambio en su comportamiento. A pesar de que estos últimos son los que se desenvuelven mejor a estos niveles de temperatura, presentan problemas en el sellado del dispositivo.

**Presión:** Los FMRs pueden trabajar, sin dificultad, bajo presiones estáticas mayores a 17 MPa. Los fluidos basados en silicona son los más aptos para operar a presiones mayores, ya que pueden soportar más de 344 MPa.

**Densidad:** Está dada por el líquido transportador y por el contenido de hierro. Normalmente, varía entre  $2\text{ g/cm}^3$  hasta  $4\text{ g/cm}^3$ .

**Volumen:** Un FMR no cambia su volumen, independientemente si se está aplicando o no un campo magnético.

**Tiempo de respuesta:** En general, el tiempo de respuesta del fluido es menor a  $10^{-3}$  segundos.

En muchos dispositivos este tiempo no sólo está limitado por el fluido, también depende de la inductancia del electroimán y del rendimiento de la impedancia de la fuerza electrónica.

**Amigable con el medio ambiente:** Los FMRs no afectan la capa de ozono porque no están formados por CFCs.

### 2.9. Vida Util de un FMR.

Dependiendo de las condiciones de una determinada aplicación, eventualmente todos los FMRs presentan cierto grado de deterioro. Un ejemplo de esto es el espesamiento del fluido. Generalmente, la cantidad de deterioro depende de la tasa de esfuerzo cortante y de la temperatura.

Una medida que ha demostrado utilidad en la estimación de la vida esperada de un FMR en una aplicación particular es la relación *LDE (Energía Disipada de Vida)*, que es la energía mecánica total convertida en calor por unidad de volumen de FMR durante la vida de un dispositivo. Está dada por:

$$LDE = \frac{1}{V} \int_0^{\text{Vida}} P \cdot dt \quad (2.2)$$

donde  $P$  es la potencia mecánica instantánea convertida en calor en un dispositivo MR, y  $V$  es el volumen de FMR en el dispositivo.

Se considera un buen FMR al que tiene una relación LDE en el orden de  $107 \text{ J/cm}^3$ , antes de que el fluido comience a espesarse.

### **2.9.1. Vida Operativa de un FMR.**

Está completamente ligada al diseño del dispositivo y al nivel de disipación de energía requerido del fluido.

### **2.9.2. Tiempo de almacenamiento de un FMR.**

Depende del fluido. Normalmente, excede los seis meses.

## **2.10. Diseño de dispositivos MRs.**

El comportamiento de los FMRs, producto de la polarización inducida en partículas suspendidas por la aplicación de un campo externo, provoca la interacción entre dipolos inducidos resultantes. Esta conducta hace que las partículas formen estructuras columnares, paralelas al campo aplicado, que restringen al fluido por el incremento en las características viscosas de la suspensión. La energía mecánica necesaria para que la fluencia de la

microestructura aumente a medida que crece el campo aplicado resulta en un campo dependiente del esfuerzo a la fluencia.

En ausencia de un campo magnético, el FMR presenta un comportamiento Newtoniano. Pero, cuando existe un campo, el comportamiento de un FMR es comúnmente representado como un plástico Bingham que tiene resistencia a la fluencia variable.

Considerando esto, se tiene:

$$\tau = \tau_y(H) + \eta \dot{\gamma}, \quad \tau < \tau_y \quad (2.3)$$

donde  $\tau$  son los esfuerzos del fluido,  $\tau_y$  es el esfuerzo a la fluencia dependiente,  $H$  es la intensidad de campo magnético,  $\dot{\gamma}$  es la tasa del esfuerzo cortante y  $\eta$  es la viscosidad plástica (a  $H = 0$ ).

Por debajo del esfuerzo a la fluencia, el material se comporta viscoelásticamente, esto es:

$$\tau = G \dot{\gamma}, \quad \tau < \tau_y \quad (2.4)$$

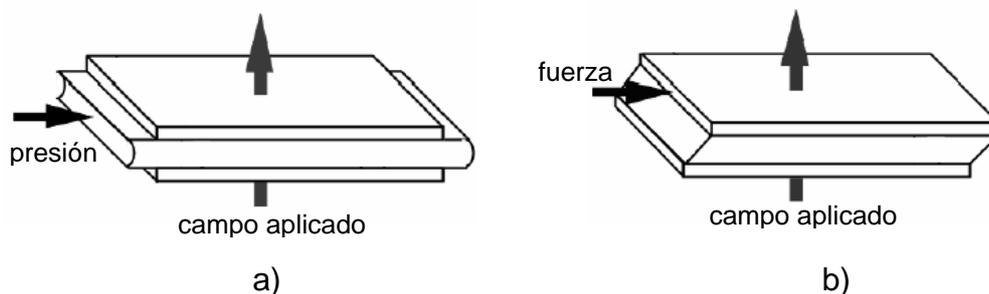
donde  $G$  es el módulo de elasticidad al esfuerzo cortante, y es dependiente del campo magnético.

### 2.10.1. Geometrías Comunes.

De acuerdo a sus condiciones básicas de operación, los dispositivos que usan FMRs pueden trabajar de las siguientes maneras:

- a) Modo de presión manejada por el flujo o de polos fijados. Incluye servoválvulas y amortiguadores.
- b) Modo de esfuerzo directo o de polos relativamente movibles. Comprende embragues, frenos y dispositivos de bloqueo.
- c) Modo de límite de película. Es usado en movimiento lento y aplicaciones de alta fuerza.

A continuación se presenta un diagrama de los dos principales modos de operacionales de los dispositivos MRs.



**Figura 2.5 Modos básicos de operación de los FMRs. a) Modo de presión manejada por el flujo. b) Modo de esfuerzo directo. [11]**

### **2.11. Aplicaciones de los FMRs.**

Actualmente, se utilizan dispositivos MRs en:

- ◆ Industria Automovilística: Para el control de la vibración, transmisión de torque variable, desarrollo de sistemas de amortiguación, frenos rotatorios y embragues.
- ◆ Industria de la Construcción: Para neutralizar las vibraciones causadas por movimientos telúricos y vientos.
- ◆ Industria Mecánica: Válvulas.

En un futuro cercano, se presume que entre los potenciales usos de estos fluidos estarán:

- + Telescopios con espejos magneto-líquidos.
- + Miembros protéticos para humanos.
- + Soportes activos para motores.
- + Amortiguadores de carga para ser usados en el espacio.
- + Cinturones de seguridad ajustables y bolsas de aire en automóviles.
- + Robots con movimientos semejantes a los humanos.

# CAPITULO 3

## **3. OBTENCION EXPERIMENTAL DE UN FLUIDO MAGNETORREOLOGICO CASERO Y DETERMINACION DE SU VISCOSIDAD BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE PRUEBA.**

En esta sección se presenta la preparación de un FMR básico. Además, se medirá la viscosidad a este fluido resultante cambiando ciertos parámetros en la toma de datos.

### **3.1. Selección y descripción de los elementos de un FMR casero.**

De acuerdo a lo analizado en el capítulo anterior, un FMR consta esencialmente de tres elementos: partículas magnéticamente polarizables (PHC), un líquido transportador (lubricante), y un agente estabilizador (grasa).

El PHC que va a ser usado es el de *grado CC*. Esta serie es producida por la reducción con hidrógeno. Sus propiedades son:

- ✓ El tamaño de las partículas de hierro varían entre 3 y 10 micrones. Esta propiedad es la más importante, porque si las partículas son muy grandes, se tiene un rápido asentamiento en la suspensión; pero si las partículas son muy pequeñas, el efecto MR disminuye.
- ✓ Partículas no aglomeradas, primariamente.
- ✓ Mecánicamente suave.
- ✓ Excelentes cualidades de compactación.
- ✓ Contenido de hierro arriba de 99,5%.
- ✓ Bajo contenido de carbón, nitrógeno y oxígeno.

Generalmente, un FMR típico tiene entre 20% y 40% de partículas de hierro por volumen.



**Figura 3.1 Polvo de Hierro Carbonyl grado CC.**

En el Apéndice B se muestran las especificaciones técnicas, certificado de análisis y las hojas de seguridad del PHC grado CC.

El lubricante que se va a emplear es el *Aceite 3 en 1*, por ser liviano y tener viscosidad baja.



**Figura 3.2 Aceite 3 en 1.**

En el Apéndice C se anexan las hojas de seguridad del aceite mencionado.

La grasa a utilizar es la *Grasa Blanca de Litio*, porque puede trabajar a altas temperaturas, tiene buena resistencia al agua (es decir, puede tolerar la adición de este líquido sin modificar su estructura y desempeño), y tiene excelente estabilidad mecánica

(o sea, tiene resistencia a los cambios permanentes debido a las aplicaciones de fuerzas de cizallamiento).



**Figura 3.3 Grasa Blanca de Litio.**

En el Apéndice D se encuentran la descripción general y las hojas de seguridad de dicha grasa.

### **3.2. Procedimiento experimental de mezclado.**

Para preparar aproximadamente 100 ml de FMR se requiere:

- ◆ 156 gramos de PHC grado CC.
- ◆ 55 gramos de aceite 3 en 1.
- ◆ 5 gramos de grasa blanca de Litio.
- ◆ Un recipiente plástico de 150 ml, de boca ancha y tapa roscable.

Para obtener mayores volúmenes de FMR se aumenta la cantidad de los tres primeros elementos en la misma proporción.

Debido a que se va a llevar a cabo un proceso experimental, es necesario el uso de mandil, gafas de protección y guantes.

El método de mezclado consiste en:

- a)** Medir correctamente las cantidades de PHC grado CC, aceite 3 en 1 y grasa blanca de Litio.
- b)** Colocar el aceite y la grasa dentro del recipiente plástico y cerrarlo.
- c)** Agitar vigorosamente el recipiente por cinco minutos.
- d)** Dejar descansar la mezcla por dos horas. Esto permitirá que la grasa se disuelva en el aceite.
- e)** Agitar nuevamente el recipiente por cinco minutos.
- f)** Añadir a la mezcla la mitad de la cantidad del PHC grado CC, y revolver.
- g)** Cuando la mezcla se vea uniforme, agregar la cantidad remanente del PHC, y continuar revolviendo hasta que vuelva a parecer homogéneo.
- h)** Finalmente, colocar la suspensión resultante en un mezclador de pintura, y batir por 10 minutos.



**Figura 3.4 FMR agitándose en una mezcladora de pintura.**

Para el presente trabajo se prepararon cuatro muestras de FMR, de 300 ml cada una.

### **3.3. FMR resultante.**

Presenta las siguientes características:

- + Su color es gris oscuro.
- + Tiende a asentarse. Por ser un FMR casero no cuenta con aditivos especiales (viscosificadores) que retarden este efecto.
- + Es similar al fluido MRF-122-2ED fabricado por Lord Corporation (en el Apéndice E se adjunta la información del mencionado FMR).



**Figura 3.5 Fluido Magnetorreológico resultante.**

Como se había mencionado anteriormente, la resistencia máxima de un FMR está dada por el porcentaje de las partículas de hierro por volumen. Sabiendo la masa y la densidad del PHC grado CC, y el volumen de la muestra de FMR, se tiene:

$$V_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{\rho_{\text{Fe}}} = \frac{468 \text{ g}}{7.8 \text{ g/cm}^3} = 60 \text{ cm}^3 = \underline{\underline{60 \text{ ml}}}$$

$$\text{Porcentaje de Fe} = \frac{V_{\text{Fe}}}{V_{\text{FMR}}} \times 100\%$$

$$\text{Porcentaje de Fe} = \frac{60 \text{ ml}}{300 \text{ ml}} \times 100\%$$

Porcentaje de Fe = 20%
------------------------

Si se quiere lograr mayor resistencia en el fluido, se debe disminuir la cantidad de aceite en 10 gramos y mantener constantes los demás valores. Sin embargo, la suspensión resultante sería muy espesa.

### 3.4. Viscosidad del FMR.

Básicamente, la viscosidad es la resistencia a fluir. Uno de los factores que afecta su valor es la temperatura, ya que mientras más caliente esté una sustancia, será menos viscosa. Además, es una de las propiedades más importantes de un FMR, dado que ésta cambia drásticamente al aplicar un estímulo magnético. Esta transformación, de estado líquido a pastoso, es lo que permite tener una amplia gama de aplicación con estos fluidos.

A fin de tener un panorama más amplio del comportamiento del FMR resultante, se evaluará la viscosidad bajo las siguientes condiciones de prueba:

- ① A temperatura ambiente, aplicando un campo magnético constante.
- ② Variando la temperatura, aplicando un campo magnético constante.
- ③ A temperatura ambiente, sin aplicar campo magnético.

Los experimentos se realizaron en tres muestras iguales de 200 ml cada una.

### 3.4.1 Descripción de los equipos y materiales utilizados.

Para llevar a cabo las pruebas experimentales, se necesitó lo siguiente:

*Vaso de precipitación:* Dentro de éste se colocó el FMR. Tiene una capacidad de 250 ml, su marca es Pyrex.



**Figura 3.6 Vaso de precipitación Pyrex.**

*Bastón agitador:* Servía para batir manualmente al FMR.



**Figura 3.7 Bastón agitador.**

*Termómetro:* Se empleaba para medir la temperatura al FMR.



**Figura 3.8 Termómetro.**

Sus datos son:

**TABLA 5**

**Especificaciones Técnicas del Termómetro**

<i>Marca</i>	Boeco
<i>Tipo</i>	Inmersión total
<i>Rango de temperaturas</i>	-20°C hasta 110°C

*Bobina:* Sirve para crear el campo magnético requerido.

En las terminales del alambre se colocaron un par de lagartos para la correspondiente conexión con la batería.



**Figura 3.9 Bobina.**

Sus datos son los siguientes:

**TABLA 6**

**Datos de la Bobina**

<i>Material conductor</i>	Alambre de Cobre # 16
<i>Número de vueltas (N)</i>	370
<i>Longitud (L)</i>	0,06 metros
<i>Resistencia</i>	1,4 $\Omega$
<i>Corriente que circula (I)</i>	8,75 A

*Batería:* Es la fuente de voltaje del sistema.



**Figura 3.10 Bateria.**

Sus datos técnicos son los siguientes:

**TABLA 7**

**Datos de la Bateria**

<i>Marca</i>	Bosch
<i>Modelo</i>	42 Standard
<i>Voltaje en vacío (Voltios)</i>	12.90
<i>Voltaje en carga (Voltios)</i>	12.25
<i>Vida útil (años)</i>	1½ a 2

En el Apéndice F se encuentra la información técnica de la batería.

*Mezclador:* Se empleó para revolver el FMR antes de cada prueba, a fin de lograr homogeneidad.



**Figura 3.11 Mezclador.**

Sus datos técnicos son:

**TABLA 8**

**Especificaciones Técnicas del Mezclador**

<i>Marca</i>	Hamilton Beach
<i>Modelo</i>	727W
<i>Tipo</i>	DM01
<i>Voltaje</i>	120 V
<i>Frecuencia</i>	50 – 60 Hertz
<i>Velocidades</i>	2

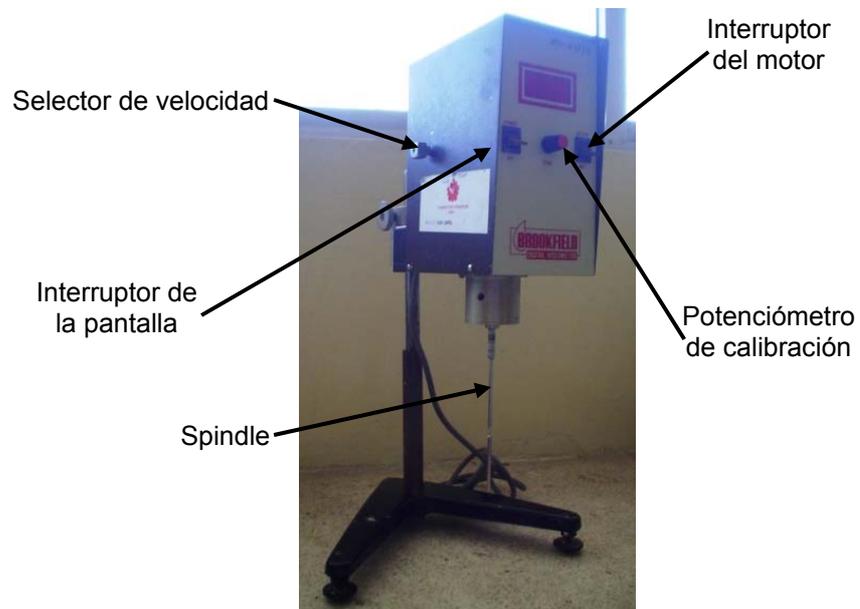
*Hidrómetro:* Proporcionaba la temperatura y la humedad del ambiente.



**Figura 3.12 Hidrómetro.**

*Viscosímetro:* Se utilizaba para medir la viscosidad del FMR. Consta de las siguientes partes:

- Selector de velocidad de rotación.
- Interruptor para encender la pantalla.
- Potenciómetro de calibración para encerar la pantalla antes de cada medición.
- Interruptor para encender el motor eléctrico.
- Spindle, que al girar mide la viscosidad de la suspensión.



**Figura 3.13 Viscosímetro.**

Sus datos técnicos son:

TABLA 9

## Especificaciones Técnicas del Viscosímetro

<i>Marca</i>	Brookfield
<i>Modelo</i>	RVTD
<i>Serie</i>	A02132
<i>Tipo</i>	Cono/Plato
<i>Rango de velocidad (rpm)</i>	5 hasta 100
<i>Precisión de la velocidad (rpm)</i>	±0,5
<i>Rango de la viscosidad (cP)</i>	100 hasta 13 millones
<i>Número de Spindles</i>	7
<i>Tipo de Spindles</i>	RV
<i>Presentación de datos</i>	Pantalla digital
<i>Voltaje</i>	120 V
<i>Frecuencia</i>	60 Hertz

Los spindles están numerados del 1 al 7, siendo el Spindle RV-1 para sustancias poco viscosas, y el Spindle RV-7 para sustancias muy viscosas. Para tomar la medición de la viscosidad, se sumerge dentro de la sustancia el spindle

adecuado hasta la marca respectiva, es decir hasta donde el cuerpo del éste tiene un diámetro menor.



**Figura 3.14 Juego de Spindles.**

Cada Spindle tiene su correspondiente factor de conversión con respecto a una velocidad determinada. Dicho factor se lo multiplica por el valor que muestra la pantalla del equipo, y esta cantidad resultante es la viscosidad de la sustancia expresada en cP. En el Apéndice G, que contiene la norma D2196-99 de la ASTM (American Society for Testing and Materials), se presentan los factores de conversión de los Spindles.

*Agitador Magnético – Calentador:* Se lo utilizó para elevar la temperatura del FMR.



**Figura 3.15 Agitador Magnético – Calentador.**

Los datos técnicos son los siguientes:

**TABLA 10**

**Especificaciones Técnicas del Agitador Magnético - Calentador**

<i>Marca</i>	Cole Parmer
<i>Modelo</i>	307N0035
<i>Rango de velocidad de agitación (rpm)</i>	0 hasta 1200
<i>Precisión de la velocidad (rpm)</i>	±20
<i>Rango de la temperatura</i>	0°C hasta 380°C
<i>Precisión de la temperatura</i>	±2%
<i>Material del Plato</i>	Aluminio
<i>Voltaje</i>	120 V
<i>Frecuencia</i>	60 Hertz

*Multímetro:* Se lo usó para controlar que el voltaje de la batería fuera siempre el mismo, y para medir la resistencia de la bobina y la corriente que pasa por ésta.



**Figura 3.16 Multímetro.**

### **3.4.2 Cálculo de B, H, y $\mu$ . [13]**

Para los FMRs, la relación entre la densidad de campo magnético (B) y la intensidad de campo magnético (H) no es lineal; depende de la fracción porcentual de las partículas de hierro por volumen. Por esta razón, la permeabilidad del FMR ( $\mu_{\text{FMR}}$ ) no es constante, y está en función de H.

La siguiente ecuación puede ser usada para estimar la relación entre B y H para cualquier FMR:

$$B = 1,91(\pi^{1,133}) \left[ 1 - e^{(-10,97 \times \mu_0 \times H)} \right] + H \mu_0 \quad (3.1)$$

donde  $\pi$  es la fracción de hierro por volumen,  $\mu_0$  es la permeabilidad del espacio libre,  $H$  está en A/m y  $B$  está en Tesla.

Sabiendo los datos de la bobina (Tabla 6), se calcula el valor de H:

$$H = \frac{NI}{L}$$

$$H = \frac{370 \text{ (8,75 A)}}{0,06 \text{ m}}$$

$$H = 53.958,33 \text{ A/m}$$

Sabiendo H y la fracción de hierro por volumen (0,2), se halla el valor de B:

$$B = 1,91(\pi^{1,133}) \left[ 1 - e^{(-10,97 \times \mu_0 \times H)} \right] + H \mu_0$$

$$B = 1,91(0,2^{1,133}) \left[ 1 - e^{(-10,97 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 53.958,33)} \right] + 53.958,33 (4\pi \times 10^{-7})$$

$$B = 0,23 \text{ Tesla}$$

Entonces, la permeabilidad del FMR es igual a:

$$\mu_{\text{FMR}} = \frac{B}{H\mu_0}$$

$$\mu_{\text{FMR}} = \frac{0.23 \text{ T}}{53.958,33 \text{ A/m} (4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A})}$$

$$\mu_{\text{FMR}} = 3,39$$

### 3.4.3 Medición de la viscosidad puntual del FMR.

Para obtener el valor promedio de la viscosidad del FMR se realizó cinco veces el ensayo para cada una de las tres muestras, y se obtuvo un valor promedio para cada medición. Además, se las hizo bajo las mismas condiciones ambientales de temperatura y humedad.

#### Procedimiento Experimental.

a) Nivelar el viscosímetro.



**Figura 3.17** Visor de nivelación del Viscosímetro.

- b) Colocar el spindle RV-7 por tratarse de una sustancia muy viscosa.



**Figura 3.18 Spindle RV-7.**

- c) Colocar el selector de velocidades en 0,5 rpm. Se selecciona esta velocidad para que el movimiento rotacional del spindle no acelere el asentamiento del FMR.



**Figura 3.19 Selector de velocidades del Viscosímetro.**

- d) Mezclar con el bastón agitador el FMR durante 1 minuto.



**Figura 3.20 Mezcla del FMR con bastón agitador.**

- e) Tomar y anotar la temperatura inicial del FMR.



**Figura 3.21 Toma de temperatura del FMR con termómetro.**

- f) Tomar y anotar la temperatura y humedad del ambiente (ver Figura 3.12.).
- g) Revolver el FMR con el mezclador durante 1 minuto, para que se homogenice la suspensión. Se utiliza la velocidad más baja, porque el choque de las partículas

de hierro hacen que se eleve demasiado la temperatura del fluido.



**Figura 3.22 Agitación del FMR con mezclador.**

- h) Volver a tomar y a anotar la temperatura del FMR (ver Figura 3.21.).
  
- i) Colocar el vaso de precipitación con el FMR dentro de la bobina, y ubicarlo debajo del cuerpo del viscosímetro. El spindle se lo sitúa a un extremo del vaso de precipitación, debido a que en este lugar el campo magnético es más fuerte.



**Figura 3.23 Colocación del FMR en el Viscosímetro.**

- j) Bajar el cuerpo del viscosímetro dentro del vaso de precipitación, para sumergir el spindle hasta la marca respectiva.



**Figura 3.24 Colocación del spindle dentro del FMR.**

- k) Encender el interruptor de la pantalla del viscosímetro.
- l) Encerar el viscosímetro con el potenciómetro de calibración.



**Figura 3.25 Viscosímetro encendido.**

m) Conectar la bobina a la batería.



**Figura 3.26 Conexión de la bobina con la batería.**

n) Encender el motor del viscosímetro.

o) Cuando se establezca la lectura en la pantalla del viscosímetro, anotar el dato visualizado. El tiempo de espera es, generalmente, 1 minuto.



**Figura 3.27 Toma de viscosidad del FMR.**

- p)** Desconectar la bobina de la batería.
- q)** Apagar la pantalla y el motor del viscosímetro.
- r)** Levantar el cuerpo del viscosímetro.
- s)** Tomar la temperatura final de la suspensión (ver Figura 3.21.).
- t)** Repetir el procedimiento desde el paso d hasta el paso s por cuatro ocasiones para cada muestra de FMR.
- u)** Una vez llenada la respectiva tabla de datos, se multiplica cada dato obtenido en el paso o por el correspondiente factor de conversión del spindle RV-7 a

la velocidad de 0,5 rpm. El resultado calculado es la viscosidad expresada en cP.

- v) Finalmente, se calcula el promedio de estos resultados para determinar la viscosidad puntual del FMR en condiciones ambientales.

Las condiciones iniciales de la prueba son:

**TABLA 11**

**Condiciones Iniciales para la prueba de Viscosidad Puntual del FMR**

<i>Temperatura inicial del FMR</i>	25°C
<i>Temperatura ambiente</i>	25°C
<i>Humedad relativa</i>	70%
<i>Spindle</i>	RV-7
<i>Velocidad</i>	0,5 rpm
<i>Factor de corrección</i>	80.000
<i>Densidad de campo magnético</i>	0,23 Tesla
<i>Tiempo de estabilización</i>	1 minuto

Los datos obtenidos (promedio) son:

**TABLA 12**

**Datos y Resultados obtenidos en la prueba de  
Viscosidad Puntual del FMR**

<b>Dato</b>	<b><math>T_{final\ mezcla}</math> (°C)</b>	<b><math>T_{final}</math> (°C)</b>	<b>Valor</b>	<b>Viscosidad (cP)</b>
1	27	30	20,4	1'632.000
2	27	30	20,7	1'656.000
3	27	30	20,6	1'648.000
4	27	30	20,6	1'648.000
5	27	30	20,6	1'648.000

La  $T_{final\ mezcla}$  es la temperatura del FMR después de la revolverlo con el mezclador. La  $T_{final}$  es la temperatura de la suspensión después de la medición de la viscosidad. Este ligero aumento en la temperatura se debe al calentamiento producido por la bobina.

El valor promedio es:

$$\text{Viscosidad Puntual FMR} = 1'646.400 \text{ cP (1.646,4 Pa.s)}$$

Este resultado se encuentra dentro de los parámetros esperados, dada la estructura pastosa del FMR en presencia del campo magnético. Además, este valor es compatible con la viscosidad de la manteca de cerdo (ver Tabla 3).

En el Apéndice H se encuentran las tablas de datos y resultados de las tres muestras de FMR.

#### **3.4.4 Medición de la viscosidad puntual del FMR variando la temperatura.**

En esta prueba se evaluó la viscosidad del FMR a diferentes temperaturas para apreciar su consecuente comportamiento. Al igual que en el experimento anterior, se realizó cinco veces el ensayo a las tres muestras de FMR para cada temperatura específica, y se obtuvo un valor promedio para cada medición. El incremento de temperatura utilizado es de 20°C. Asimismo, se las hizo

bajo las mismas condiciones ambientales de temperatura y humedad.

### **Procedimiento Experimental.**

- a)** Nivelar el viscosímetro (ver Figura 3.17.).
  
- b)** Colocar el spindle RV-7 por tratarse de una sustancia muy viscosa (ver Figura 3.18.).
  
- c)** Colocar el selector de velocidades en 0,5 rpm. Se selecciona esta velocidad para que el movimiento rotacional del spindle no acelere el asentamiento del FMR (ver Figura 3.19.).
  
- d)** Mezclar con el bastón agitador el FMR durante 1 minuto (ver Figura 3.20.).
  
- e)** Tomar y anotar la temperatura inicial del FMR (ver Figura 3.21.).
  
- f)** Tomar y anotar la temperatura y humedad del ambiente (ver Figura 3.12.).

- g)** Revolver el FMR con el mezclador durante 1 minuto, para que se homogenice la suspensión. Se utiliza la velocidad más baja, porque el choque de las partículas de hierro hacen que se eleve demasiado la temperatura del fluido (ver Figura 3.22.).
- h)** Volver a tomar y a anotar la temperatura del FMR (ver Figura 3.21.).
- i)** Colocar el vaso de precipitación con el FMR dentro de la bobina, y ubicarlo debajo del cuerpo del viscosímetro. El spindle se lo sitúa a un extremo del vaso de precipitación, debido a que en este lugar el campo magnético es más fuerte (ver Figura 3.23.).
- j)** Bajar el cuerpo del viscosímetro dentro del vaso de precipitación, para sumergir el spindle hasta la marca respectiva (ver Figura 3.24.).
- k)** Encender el interruptor de la pantalla del viscosímetro.

- l)** Encerar el viscosímetro con el potenciómetro de calibración (ver Figura 3.25.).
  
- m)** Conectar la bobina a la batería (ver Figura 3.26).
  
- n)** Encender el motor del viscosímetro.
  
- o)** Cuando se estabilice la lectura en la pantalla del viscosímetro, anotar el dato visualizado. El tiempo de espera es, generalmente, 1 minuto.
  
- p)** Desconectar la bobina de la batería.
  
- q)** Apagar la pantalla y el motor del viscosímetro.
  
- r)** Levantar el cuerpo del viscosímetro.
  
- s)** Colocar el FMR en el agitador magnético – calentador para elevar su temperatura en 20°C. Durante este proceso, revolver la suspensión con el bastón agitador para lograr una distribución homogénea de la temperatura.



**Figura 3.28 Calentamiento del FMR.**

- t) Repetir el procedimiento desde el paso i hasta el paso s por tres ocasiones para cada muestra de FMR.



a)



b)



c)



d)

**Figura 3.29 Aspecto del FMR a diferentes temperaturas. a) A 27°C. b)**

**A 47°C. c) A 67°C. d) A 87°C.**

- u) Una vez llenada la pertinente tabla de datos, se multiplica cada dato obtenido en el paso o por el correspondiente factor de conversión del spindle RV-7 a la velocidad de 0,5 rpm. El resultado calculado es la viscosidad expresada en cP.
  
- v) Por último, se calcula el promedio de todos los resultados para determinar la viscosidad puntual del FMR a diferentes temperaturas, y se traza una gráfica para visualizar su variación.

Las condiciones iniciales de la prueba son:

TABLA 13

**Condiciones Iniciales para la prueba de Viscosidad Puntual del FMR  
variando la temperatura**

<i>Temperatura ambiente</i>	25°C
<i>Humedad relativa</i>	70%
<i>Temperatura inicial del FMR</i>	25°C
<i>Temperatura final de mezcla del FMR</i>	27°C
<i>Spindle</i>	RV-7
<i>Velocidad</i>	0,5 rpm
<i>Factor de corrección</i>	80.000
<i>Densidad de campo magnético</i>	0,23 Tesla
<i>Incremento de temperatura</i>	20°C
<i>Tiempo de estabilización</i>	1 minuto

Los datos obtenidos (promedio) son:

TABLA 14

Datos y Resultados obtenidos en la prueba de  
Viscosidad Puntual del FMR a 27°C

<i>Dato</i>	<i>Valor</i>	<i>Viscosidad (cP)</i>
1	20,5	1'640.000
2	20,5	1'640.000
3	20,7	1'656.000
4	20,6	1'648.000
5	20,6	1'648.000

TABLA 15

Datos y Resultados obtenidos en la prueba de  
Viscosidad Puntual del FMR a 47°C

<i>Dato</i>	<i>Valor</i>	<i>Viscosidad (cP)</i>
1	19,5	1'560.000
2	19,3	1'544.000
3	19,2	1'536.000
4	19,4	1'552.000
5	19,6	1'568.000

TABLA 16

Datos y Resultados obtenidos en la prueba de  
Viscosidad Puntual del FMR a 67°C

<i>Dato</i>	<i>Valor</i>	<i>Viscosidad (cP)</i>
1	18,8	1'504.000
2	18,6	1'488.000
3	18,3	1'464.000
4	18,1	1'448.000
5	18,4	1'472.000

TABLA 17

Datos y Resultados obtenidos en la prueba de  
Viscosidad Puntual del FMR a 87°C

<i>Dato</i>	<i>Valor</i>	<i>Viscosidad (cP)</i>
1	17,5	1'400.000
2	17,4	1'392.000
3	17,5	1'400.000
4	17,7	1'416.000
5	17,4	1'392.000

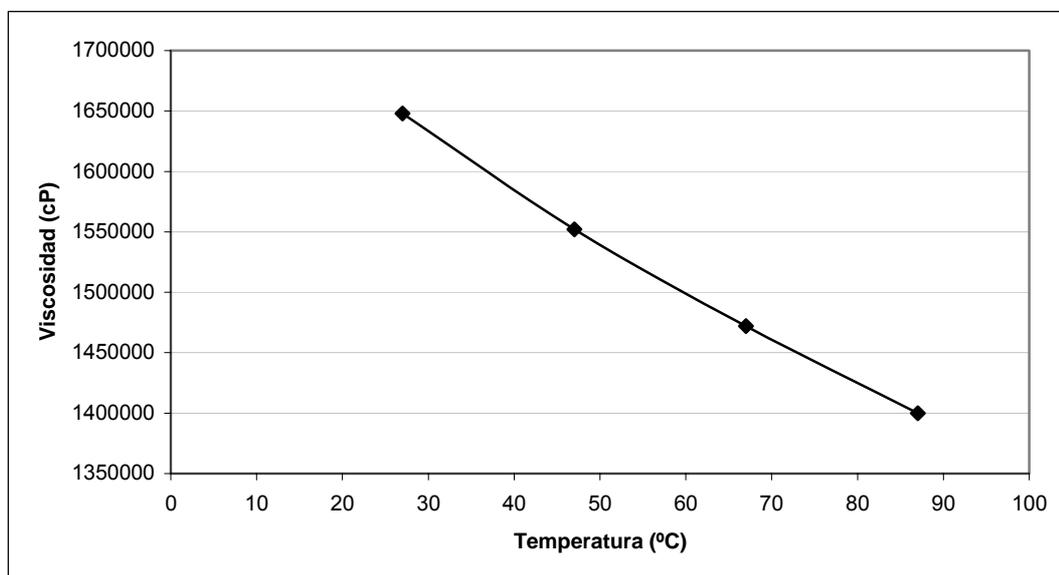
Promediando los resultados obtenidos, se tiene:

**TABLA 18**

**Viscosidad Puntual del FMR variando la temperatura**

<i>Dato</i>	<i>T<sub>prueba FMR</sub> (°C)</i>	<i>Valor</i>	<i>Viscosidad (cP)</i>	<i>Viscosidad (Pa.s)</i>
1	27	20,6	1'648.000	1.648
2	47	19,4	1'552.000	1.552
3	67	18,4	1'472.000	1.472
4	87	17,5	1'400.000	1.400

Graficando esta tabla:



**Figura 3.30 Variación de la Viscosidad Puntual del FMR**

**con respecto a la Temperatura.**

Sabiendo que la viscosidad disminuye con la temperatura, entonces los resultados obtenidos en este ensayo se encuentran dentro de los valores esperados.

En el Apéndice I se encuentran las tablas de datos y resultados de las tres muestras de FMR.

#### **3.4.5 Medición de la viscosidad puntual del FMR sin densidad de campo magnético.**

Con la finalidad de obtener el valor promedio de la viscosidad del FMR sin densidad de campo magnético, se procedió a medir primero la viscosidad del aceite 3 en 1, para establecer un parámetro de comparación. Luego se evaluó la viscosidad de la suspensión. El ensayo se llevó a cabo una vez para cada una de las tres muestras, y se obtuvo un valor promedio para cada medición. Además, se las hizo bajo las mismas condiciones ambientales de temperatura y humedad.

**Procedimiento Experimental para medir la viscosidad del aceite 3 en 1.**

- a) En un vaso de precipitación, verter 200 ml de aceite 3 en 1.



**Figura 3.31 Vaso de precipitación con 200 ml de aceite 3 en 1.**

- b) Nivelar el viscosímetro (ver Figura 3.17.).
- c) Colocar el spindle RV-1 por tratarse de una sustancia poco viscosa.



**Figura 3.31 Spindle RV-1.**

- d)** Colocar el selector de velocidades en 0,5 rpm. Se selecciona esta velocidad para que el movimiento rotacional del spindle no contribuya a la formación de burbujas en el aceite (ver Figura 3.19.).
- e)** Tomar y anotar la temperatura del aceite.
- f)** Tomar y anotar la temperatura y humedad del ambiente (ver Figura 3.12.).
- g)** Colocar el vaso de precipitación con el aceite debajo del cuerpo del viscosímetro, para sumergir el spindle hasta la marca respectiva.
- h)** Encender el interruptor de la pantalla del viscosímetro.
- i)** Encerar el viscosímetro con el potenciómetro de calibración (ver Figura 3.25.).
- j)** Encender el motor del viscosímetro.

- k) Cuando se estabilice la lectura en la pantalla del viscosímetro, anotar el dato visualizado. El tiempo de espera es, generalmente, 20 segundos.



**Figura 3.32 Toma de viscosidad del aceite 3 en 1.**

- l) Apagar la pantalla y el motor del viscosímetro.
- m) Levantar el cuerpo del viscosímetro.
- n) En último lugar, se multiplica el valor obtenido en el paso k por el correspondiente factor de conversión del spindle RV-1 a la velocidad de 0,5 rpm. El resultado calculado es la viscosidad expresada en cP.

Las condiciones iniciales para esta medición son:

TABLA 19

## Condiciones Iniciales para la prueba de Viscosidad del Aceite 3 en 1

<i>Temperatura inicial del aceite</i>	25°C
<i>Temperatura ambiente</i>	25°C
<i>Humedad relativa</i>	70%
<i>Spindle</i>	RV-1
<i>Velocidad</i>	0,5 rpm
<i>Factor de corrección</i>	200
<i>Tiempo de estabilización</i>	20 segundos

El dato obtenido fue de **0,3**. Multiplicando por el factor de corrección respectivo, se tiene que:

Viscosidad<sub>3 en 1</sub> = Valor obtenido x factor de corrección

$$\text{Viscosidad}_{3 \text{ en } 1} = 0,3 \times 200$$

Viscosidad <sub>3 en 1</sub> = 60 cP
--------------------------------------

**Procedimiento Experimental para medir la viscosidad puntual del FMR sin densidad de campo magnético.**

- a) Nivelar el viscosímetro (ver Figura 3.17.).
- b) Colocar el spindle RV-2 por tratarse de una sustancia poco viscosa.



**Figura 3.33 Spindle RV-2.**

- c) Colocar el selector de velocidades en 0,5 rpm. Se selecciona esta velocidad para que el movimiento rotacional del spindle no acelere el asentamiento del FMR (ver Figura 3.19.).
- d) Mezclar con el bastón agitador el FMR durante 1 minuto (ver Figura 3.20.).

- e)** Tomar y anotar la temperatura inicial del FMR (ver Figura 3.21.).
  
- f)** Tomar y anotar la temperatura y humedad del ambiente (ver Figura 3.12.).
  
- g)** Revolver el FMR con el mezclador durante 1 minuto, para que se homogenice la suspensión. Se utiliza la velocidad más baja, porque el choque de las partículas de hierro hacen que se eleve demasiado la temperatura del fluido (ver Figura 3.22.).
  
- h)** Volver a tomar y a anotar la temperatura del FMR (ver Figura 3.21.).
  
- i)** Colocar el vaso de precipitación con el FMR debajo del cuerpo del viscosímetro, para sumergir el spindle hasta la marca respectiva.



**Figura 3.34 Colocación del FMR en el Viscosímetro (sin bobina).**

- j) Encender el interruptor de la pantalla del viscosímetro.
- k) Encerar el viscosímetro con el potenciómetro de calibración (ver Figura 3.25.).
- l) Encender el motor del viscosímetro.
- m) Cuando se estabilice la lectura en la pantalla del viscosímetro, anotar el dato visualizado. El tiempo de espera es, generalmente, 30 segundos.



a)



b)



c)



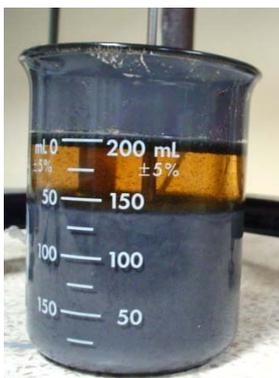
d)



e)



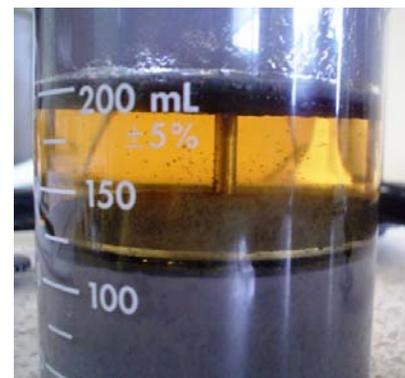
f)



g)



h)



i)

**Figura 3.35 Asentamiento del FMR. a) y b) Al inicio. c) A los 120 minutos. d) A los 240 minutos. e) A los 360 minutos. f) A los 480 minutos. g) A los 600 minutos. h) e i) A los 1540 minutos.**

- n)** Apagar la pantalla y el motor del viscosímetro, sin retirar el vaso de precipitación.
  
- o)** Repetir el procedimiento desde el paso j hasta el paso n cada diez minutos para cada muestra de FMR, hasta que la suspensión se haya asentado completamente.
  
- p)** Una vez llenada la respectiva tabla de datos, se multiplica cada dato obtenido en el paso m por el correspondiente factor de conversión del spindle RV-2 a la velocidad de 0,5 rpm. El resultado calculado es la viscosidad expresada en cP.
  
- q)** Para terminar, se calcula el promedio de estos resultados para determinar la viscosidad puntual del FMR sin densidad de campo magnético, y se bosqueja una gráfica para representar su cambio con el tiempo.

Las condiciones iniciales de la prueba son:

TABLA 20

**Condiciones Iniciales para la prueba de Viscosidad Puntual del FMR sin densidad del campo magnético**

<i>Temperatura ambiente</i>	25°C
<i>Humedad relativa</i>	70%
<i>Temperatura inicial del FMR</i>	25°C
<i>Spindle</i>	RV-2
<i>Velocidad</i>	0,5 rpm
<i>Factor de corrección</i>	800
<i>Tiempo de estabilización</i>	30 segundos

Los datos obtenidos (promedio) son:

TABLA 21

**Datos y Resultados obtenidos en la prueba de Viscosidad Puntual del  
FMR sin densidad de campo magnético**

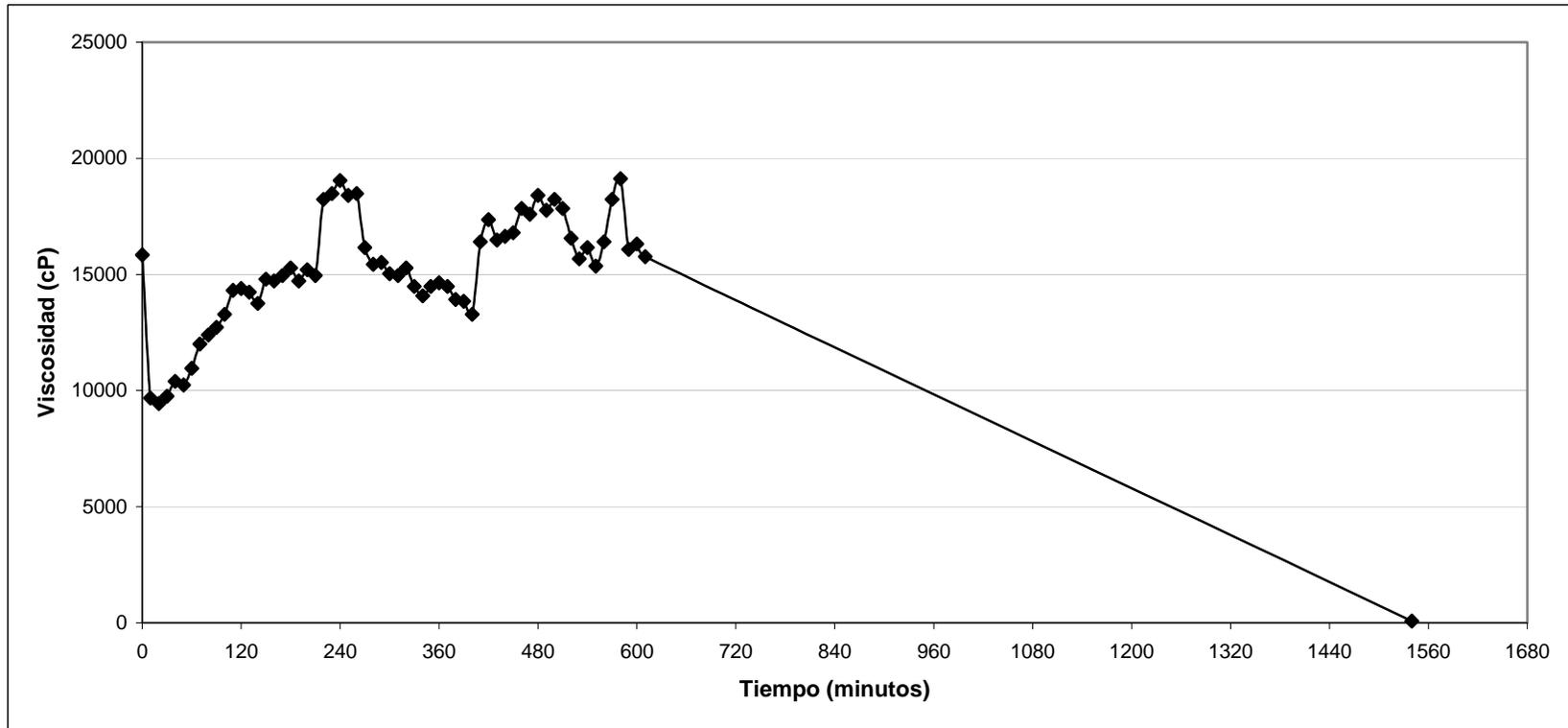
<i>Dato</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Valor</i>	<i>Viscosidad (cP)</i>	<i>Viscosidad (Pa.s)</i>
1	0	19,8	15.840	15,84
2	10	12,1	9.680	9,68
3	20	11,8	9.440	9,44
4	30	12,2	9.760	9,76
5	40	13,0	10.400	10,40
6	50	12,8	10.240	10,24
7	60	13,7	10.960	10,96
8	70	15,0	12.000	12,00
9	80	15,5	12.400	12,40
10	90	15,9	12.720	12,72
11	100	16,6	13.280	13,28
12	110	17,9	14.320	14,32
13	120	18,0	14.400	14,4
14	130	17,8	14.240	14,24
15	140	17,2	13.760	13,76
16	150	18,5	14.800	14,80

<i>Dato</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Valor</i>	<i>Viscosidad (cP)</i>	<i>Viscosidad (Pa.s)</i>
17	160	18,4	14.720	14,72
18	170	18,7	14.960	14,96
19	180	19,1	15.280	15,28
20	190	18,4	14.720	14,72
21	200	19,0	15.200	15,20
22	210	18,7	14.960	14,96
23	220	22,8	18.240	18,24
24	230	23,1	18.480	18,48
25	240	23,8	19.040	19,04
26	250	23,0	18.400	18,40
27	260	23,1	18.480	18,48
28	270	20,2	16.160	16,16
29	280	19,3	15.440	15,44
30	290	19,4	15.520	15,52
31	300	18,8	15.040	15,04
32	310	18,7	14.960	14,96
33	320	19,1	15.280	15,28
34	330	18,1	14.480	14,48
35	340	17,6	14.080	14,08
36	350	18,1	14.480	14,48

<i>Dato</i>	<i>Tiempo (min)</i>	<i>Valor</i>	<i>Viscosidad (cP)</i>	<i>Viscosidad (Pa.s)</i>
37	360	18,3	14.640	14,64
38	370	18,1	14.480	14,48
39	380	17,4	13.920	13,92
40	390	17,3	13.840	13,84
41	400	16,6	13.280	13,28
42	410	20,5	16.400	16,40
43	420	21,7	17.360	17,36
44	430	20,6	16.480	16,48
45	440	20,8	16.640	16,64
46	450	21,0	16.800	16,80
47	460	22,3	17.840	17,84
48	470	22,0	17.600	17,60
49	480	23,0	18.400	18,40
50	490	22,2	17.760	17,76
51	500	22,8	18.240	18,24
52	510	22,3	17.840	17,84
53	520	20,7	16.560	16,56
54	530	19,6	15.680	15,68
55	540	20,2	16.160	16,16
56	550	19,2	15.360	15,36

<b><i>Dato</i></b>	<b><i>Tiempo (min)</i></b>	<b><i>Valor</i></b>	<b><i>Viscosidad (cP)</i></b>	<b><i>Viscosidad (Pa.s)</i></b>
57	560	20,5	16.400	16,40
58	570	22,8	18.240	18,24
59	580	23,9	19.120	19,12
60	590	20,1	16.080	16,08
61	600	20,4	16.320	16,32
62	610	19,7	15.760	15,76
63	1540	0,1	80	0,08

Graficando esta tabla:



**Figura 3.36. Variación de la Viscosidad Puntual del FMR con respecto al Tiempo.**



En base a los resultados obtenidos se puede notar que, conforme pasa el tiempo, la viscosidad del FMR disminuye desde la correspondiente de un aceite SAE 40 hasta la respectiva de un aceite SAE 10 (ver Tabla 3). También se aprecia que cuando el FMR está totalmente asentado tiene una viscosidad ligeramente mayor a la del aceite 3 en 1; esto se debe a que el FMR, además de este lubricante, tiene grasa (viscosidad mayor).

Los picos y valles en el gráfico de la viscosidad, se presentan porque el FMR no cuenta con aditivos reológicos (viscosificadores) que mantengan en suspensión las partículas de hierro por un tiempo más prolongado.

En el Apéndice J se encuentran las tablas de datos y resultados de las tres muestras de FMR.

# **CAPITULO 4**

## **4. CONSTRUCCION, MONTAJE Y PRUEBA DE RESISTENCIA DE UN PROTOTIPO MAGNETORREOLOGICO.**

En este capítulo se muestra una aplicación sencilla de los FMRs. El prototipo MR propuesto es un actuador cilíndrico, el cual va a ser sometido a una fuerza de compresión (peso), y se evaluará la resistencia que presente dentro de un contexto estático. Además, se presentará un breve análisis de la potencia disipada y de los costos de operación de dicho equipo.

### **4.1. Características de los elementos a emplear para la construcción y montaje de un prototipo MR.**

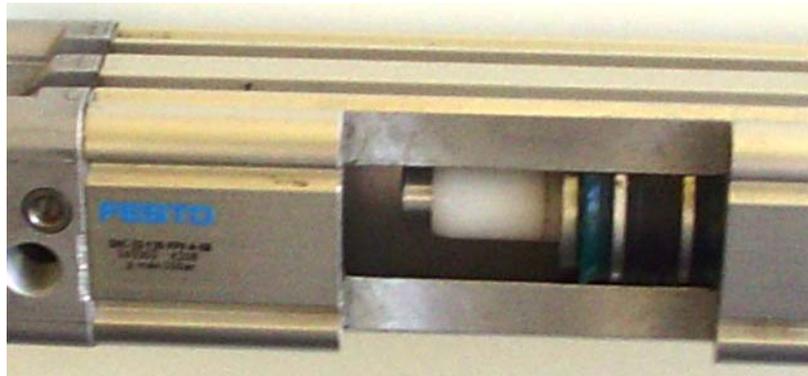
Además del FMR y de la batería (fem), descritos en el capítulo anterior, se va a precisar de lo siguiente:

*Actuador Cilíndrico:* Es un dispositivo que convierte energía hidráulica o neumática en energía mecánica. Dentro de él se colocará el FMR.



**Figura 4.1 Actuador Cilíndrico.**

Consta de un cilindro, que constituye el cuerpo cerrado por dos cabezales, y de un émbolo en su interior que transmite su desplazamiento al exterior por medio de un vástago.



**Figura 4.2 Embolo del cilindro.**

Sus datos técnicos son:

TABLA 22

## Especificaciones Técnicas del Actuador Cilíndrico

<i>Marca</i>	Festo
<i>Modelo</i>	DSN-25-80-P
<i>Tipo</i>	Cilindro normalizado de doble efecto
<i>Norma</i>	ISO 6432
<i>Diámetro del émbolo (mm)</i>	25
<i>Altura de la cavidad inferior (mm)</i>	30
<i>Carrera (mm)</i>	80
<i>Amortiguación</i>	Sin posibilidad de regulación
<i>Presión de funcionamiento (bar)</i>	1 - 10
<i>Material del vástago</i>	Acero inoxidable de aleación fina
<i>Material del cuerpo</i>	Acero inoxidable de aleación fina

En el Apéndice K se encuentra información técnica detallada de este cilindro.

*Caballote:* Servía para la sujeción del cilindro.



**Figura 4.3 Caballote del cilindro.**

Sus datos son:

**TABLA 23**

**Especificaciones Técnicas del Caballote**

<i>Marca</i>	Festo
<i>Modelo</i>	LBN-20/25
<i>Tipo</i>	De fijación orientable
<i>Material</i>	Acero cincado

*Racor:* Es una conexión que permite unir al actuador con las mangueras de alimentación de FMR.



**Figura 4.4 Racor para el actuador.**

Sus datos son los siguientes:

**TABLA 24**

**Especificaciones Técnicas del Racor**

<i>Marca</i>	Festo
<i>Modelo</i>	QS-1/8-6
<i>Tipo</i>	Racor rápido roscado
<i>Construcción</i>	Principio de empuje y tracción
<i>Material del cuerpo</i>	Latón

*Manguera:* Sirven para transportan el FMR dentro y fuera del actuador.



**Figura 4.5 Manguera.**

Sus datos son:

**TABLA 25**

**Especificaciones Técnicas de la Manguera**

<i>Marca</i>	Festo
<i>Modelo</i>	PUN-6x1-BL
<i>Tipo</i>	Tubo de material sintético
<i>Diámetro interior (mm)</i>	4
<i>Diámetro exterior (mm)</i>	6
<i>Presión máxima (bar)</i>	10

*Bobina:* Sirve para crear el campo magnético necesario. En las terminales del alambre se colocaron un par de lagartos para la

correspondiente conexión con la batería. Se la construyó sobre el actuador. Nótese que la altura de la bobina es igual a la altura de la cavidad inferior del actuador cilíndrico (Tabla 22).



**Figura 4.6 Bobina del actuador.**

Sus datos son los siguientes:

**TABLA 26**

**Datos de la Bobina del Actuador**

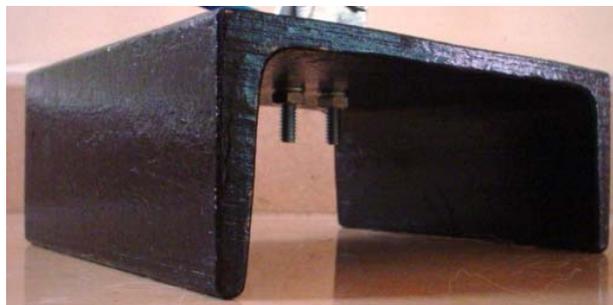
<i>Material conductor</i>	Alambre de Cobre # 16
<i>Número de vueltas (N)</i>	272
<i>Longitud (L)</i>	0,03 metros
<i>Resistencia</i>	0,8 $\Omega$
<i>Corriente que circula (I)</i>	15,31 A

*Aceiteras:* Se las utilizó para suministrar y almacenar el FMR. Se emplearon dos: a la primera se le acopló un racor en la salida para tener control en la alimentación de la suspensión; y a la segunda se le quitó la parte del abastecimiento de la tapa para que sirva de reservorio del FMR.



**Figura 4.7 Aceiteras. a) De suministro. b) De almacenamiento.**

*Canal:* Servía como base del prototipo. Es un canal, cuya designación es MC6x12. Para usarlo como soporte, se procedió a taladrar los agujeros para la fijación del cilindro. Luego de esto, se le colocó pintura anticorrosiva.



**Figura 4.8 Canal.**

En el Apéndice L se encuentra la especificación técnica del mencionado perfil.

*Pernos, arandelas y tuercas de sujeción:* Servían para sujetar el caballete de fijación con el canal. El perno es de zinc, de cabeza achatada de cruz, y su medida es  $\frac{1}{4}$ -20 x  $1\frac{1}{4}$ .



**Figura 4.9 Pernos, arandelas y tuercas de sujeción.**

*Masas Patrón:* Son las cargas que se utilizaban para evaluar la resistencia del actuador cilíndrico. Su marca es Ohaus, y se emplearon masas de 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1.000 gramos.



**Figura 4.10 Masas Patrón.**

*Tuerca y placa de soporte de las masas:* Se colocaba encima del cilindro para que sirva de apoyo cuando se ubicaban las masas patrón.



**Figura 4.11 Tuerca y placa de soporte de las masas patrón.**

#### 4.2. Cálculo de B, H y $\mu$ . [13]

Con los datos de la bobina (Tabla 26), se procede a calcular el valor de H:

$$H = \frac{NI}{L}$$

$$H = \frac{272 (15,31A)}{0,03 \text{ m}}$$

$H = 138.810,67 \text{ A/m}$
------------------------------

Con este valor y sabiendo la fracción de hierro por volumen del FMR, se calcula el valor de B con la ecuación 3.1:

$$B = 1,91(\pi^{1,133}) \left[ 1 - e^{(-10,97 \times \mu_0 \times H)} \right] + H \mu_0$$

$$B = 1,91(0,2^{1,133}) \left[ 1 - e^{(-10,97 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 138.810,67)} \right] + 138.810,67 (4\pi \times 10^{-7})$$

$$B = 0,44 \text{ Tesla}$$

Entonces, la permeabilidad del FMR es:

$$\mu_{\text{FMR}} = \frac{B}{H \mu_0}$$

$$\mu_{\text{FMR}} = \frac{0,44 \text{ T}}{138.810,67 \text{ A/m} (4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A})}$$

$$\mu_{\text{FMR}} = 2,5$$

#### 4.3. Procedimiento experimental.

- a) Acoplar el caballete de fijación con el canal usando los pernos, arandelas y tuercas de sujeción.
- b) Montar el actuador cilíndrico con la bobina en el caballete de fijación.
- c) Colocar los racores (superior e inferior) en los respectivos orificios del actuador.

- d)** Conectar los tramos de mangueras en los racores del actuador.
  
- e)** Llenar la aceitera de suministro con FMR.
  
- f)** Conectar la manguera superior con la aceitera de almacenamiento, y la manguera inferior con la aceitera de suministro.
  
- g)** Enroscar la tuerca y la placa de soporte de las masas en la parte superior del vástago del actuador.
  
- h)** Levantar manualmente el vástago y rellenar el actuador con el FMR de la aceitera de suministro. Es importante que toda la longitud de la carrera del cilindro se encuentre extendida. Seguir accionando la aceitera hasta que el vástago quede suspendido sin ayuda.
  
- i)** Conectar los lagartos de la bobina con la batería.
  
- j)** Comenzar a colocar cargas (masas patrón) en la placa de soporte del cilindro.



**Figura 4.12 Funcionamiento del Prototipo (Actuador Cilíndrico) MR.**

- k) En la respectiva tabla de datos y resultados anotar el comportamiento (resistencia a la carga aplicada) del FMR con cada masa propuesta.
  
- l) Agregar masa hasta que el vástago comience a descender. Este valor límite es el que se utiliza para el análisis hidrostático del actuador cilíndrico.

#### **4.4. Tabla de datos y resultados.**

Para encontrar la masa máxima que soporta el FMR dentro del actuador cilíndrico, se comenzó a colocar cargas sobre éste. Entonces, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

TABLA 27

**Datos y Resultados de la Prueba de Resistencia del  
Prototipo MR propuesto**

<i>Dato</i>	<i>Masa (g)</i>	<i>Movimiento en el vástago</i>
1	100	No
2	200	No
3	300	No
4	400	No
5	500	No
6	600	No
7	700	No
8	800	No
9	900	No
10	1000	No
11	1100	No
12	1200	No
13	1300	No
14	1400	No
15	1500	No

<i>Dato</i>	<i>Masa (g)</i>	<i>Movimiento en el vástago</i>
16	1600	Sí, comienza a descender
17	1550	Sí, comienza a descender
18	1520	Sí, comienza a descender
19	1510	Sí, comienza a descender
20	1505	Sí, comienza a descender
21	1501	Sí, comienza a descender



**Figura 4.13 Prueba de resistencia del Prototipo MR.**

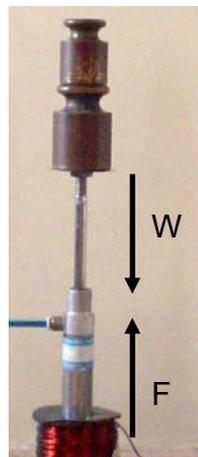
**a) Con 1.500 gramos. b) Con 1501 gramos.**

Entonces, la carga límite que puede soportar el vástago del actuador cilíndrico sin moverse es:

$$\text{Masa máxima} = 1.500 \text{ g} = 1,5 \text{ Kg}$$

#### 4.5. Análisis del resultado obtenido.

Por tratarse de un análisis hidrostático, con la masa máxima se puede determinar la fuerza generada en el actuador cilíndrico porque no existe una fuerza de empuje. Trazando un gráfico de la situación, se tiene lo siguiente:



**Figura 4.14 Diagrama hidrostático del Prototipo MR propuesto.**

donde  $F$  es la fuerza de arrastre (resistencia) del FMR, y  $W$  es la fuerza producida por la masa.

Entonces:

$$\text{Empuje} = 0$$

$$F - W = 0$$

$$F = W = \text{masa} \times \text{gravedad} = 1,5 \text{ Kg} (9,8 \text{ m/s}^2)$$

$F = 14,7 \text{ Newton}$
---------------------------

Para hallar el valor de la presión, producto de la fuerza de resistencia del FMR, se tiene que encontrar el área y el volumen de la suspensión dentro del actuador cilíndrico. Los datos usados a continuación se encuentran en la Tabla 22.

$$\text{Area}_{\text{FMR}} = \pi r_{\text{émbolo}}^2 = \pi (0,0125 \text{ m})^2 = \underline{\underline{4,91 \times 10^{-4} \text{ m}^2}}$$

$$\text{Volumen}_{\text{FMR}} = \pi r_{\text{émbolo}}^2 h_{\text{cavidad inferior}} = \pi (0,0125 \text{ m})^2 (0,03 \text{ m})$$

$$\text{Volumen}_{\text{FMR}} = \underline{\underline{1,473 \times 10^{-5} \text{ m}^3}} = \underline{\underline{14,73 \text{ ml}}}$$

El valor máximo de la presión del prototipo MR propuesto está dado por:

$$F = P_{\text{FMR}} A_{\text{FMR}}$$

$$P_{\text{FMR}} = \frac{F}{A_{\text{FMR}}} = \frac{14,7 \text{ Newton}}{4,91 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$P = 29.938,90 \text{ Pa} = 0,29 \text{ bar} = 4,34 \text{ psi}$$

#### 4.6. Cálculo de la potencia total disipada.

Para determinar la potencia total de la batería se debe conocer el valor de la resistencia interna de la misma. Sabiendo los datos de la fem (Tabla 7) y de la bobina del actuador (Tabla 26), la resistencia en cuestión está dada por la ecuación 1.5:

$$\varepsilon = IR_{\text{bobina}} + Ir_{\text{interna}}$$

$$r_{\text{interna}} = \frac{\varepsilon - IR_{\text{bobina}}}{I}$$

$$r_{\text{interna}} = \frac{12,90 \text{ V} - (15,31 \text{ A} \times 0,8 \Omega)}{15,31 \text{ A}}$$

$$\underline{\underline{r_{\text{interna}} = 0.043 \Omega}}$$

De la ecuación 1.6 se tiene que:

$$P_{\text{resist. carga}} = I^2 R = (15,31 \text{ A})^2 (0,8 \Omega) = \underline{\underline{187,52 \text{ W}}}$$

$$P_{\text{resist. interna}} = I^2 r = (15,31 \text{ A})^2 (0,043 \Omega) = \underline{\underline{10,08 \text{ W}}}$$

Entonces:

$$P_{\text{total fem}} = P_{\text{resist. carga}} + P_{\text{resist. interna}}$$

$$P_{\text{total fem}} = 187,52 \text{ W} + 10,08 \text{ W}$$

$P_{\text{total fem}} = 197,60 \text{ W}$
---

De lo cual se deduce que:

$$\text{Porc. resist. carga} = \frac{P_{\text{resist. carga}}}{P_{\text{total fem}}} \times 100\% = \frac{187,52 \text{ W}}{197,60 \text{ W}} \times 100\% = \underline{\underline{94,90\%}}$$

$$\text{Porc. resist. interna} = \frac{P_{\text{resist. interna}}}{P_{\text{total fem}}} \times 100\% = \frac{10,08 \text{ W}}{197,60 \text{ W}} \times 100\% = \underline{\underline{5,10\%}}$$

#### 4.7. Costos de operación del actuador cilíndrico MR.

Dado que el prototipo MR funciona con una batería, el único costo que habría que considerar sería el de la recargada ésta.

La batería opera dentro de los rangos requeridos de potencial eléctrico durante 72 minutos. El prototipo MR va a trabajar como cualquier cilindro neumático, es decir sólo breves instantes; por lo cual, en el más crítico de los casos, la fem usada durará un día. Para que la fuente de voltaje vuelva a estar apta, se usará un ***Cargador de Batería.***



**Figura 4.15 Cargador de Batería.**

Los datos técnicos son los siguientes:

TABLA 28

## Especificaciones Técnicas del Cargador de Batería

<i>Marca</i>	Incar
<i>Tipo</i>	Autorregulable
<i>Voltaje (V)</i>	110
<i>Intensidad (A)</i>	5
<i>Tiempo de recarga (H)</i>	5

Para cargar una batería, se recomienda conectar primero el borne positivo, y después el negativo.



**Figura 4.16** Proceso de recargada de Batería.

Se procede a calcular la potencia de este equipo:

$$\text{Potencia} = \text{Intensidad} \times \text{Voltaje}$$

$$\text{Potencia} = 5 \text{ A} (110 \text{ V})$$

$$\underline{\underline{\text{Potencia} = 550 \text{ W} = 0,55 \text{ KW}}}$$

El consumo de energía del cargador está dado por:

$$\text{Consumo} = \text{Potencia} \times \text{tiempo de funcionamiento}$$

$$\text{Consumo} = 0,55 \text{ KW} (5 \text{ H})$$

$$\underline{\underline{\text{Consumo} = 2,75 \text{ KWH}}}$$

Sabiendo que el costo de 1 KWH es de \$ 0,10, el costo de operación diario de la recargada de la batería es:

$$\text{Costo de operación diario} = \text{Consumo} \times \text{Factor}$$

$$\text{Costo de operación diario} = 2,75 \text{ KWH} \left( \frac{\$ 0,10}{1 \text{ KWH}} \right)$$

$$\underline{\underline{\text{Costo de operación diario} = \$ 0,275}}$$

Si a este costo de operación lo multiplico por un mes laboral (20 días), se obtiene el costo de operación mensual del dispositivo

MR:

Costo de operación mensual = Costo de operación diario x tiempo

Costo de operación mensual = \$ 0,275 (20 días)

Costo de operación mensual = \$ 5,50

***Costo de operación mensual = \$ 5,50***

# CAPITULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### **Conclusiones.**

De acuerdo a la experimentación desarrollada en esta tesis, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. En el presente trabajo se construyó, montó y probó un actuador cilíndrico que usaba Fluido Magnetorreológico. Aunque este prototipo no llegó a los parámetros de operación de un cilindro neumático (de 1 a 10 bar), ofrece una alternativa de solución cuando las presiones usadas son iguales o menores a 0,29 bar.
2. El porcentaje de las partículas de hierro por volumen del Fluido Magnetorreológico es del 20%. Este valor se encuentra dentro de las medidas normales de estas suspensiones.

3. Cuando el Fluido Magnetorreológico se encuentra magnéticamente estimulado, se vuelve una suspensión muy pastosa. Por esto, el valor de la viscosidad (1'646.400 centipoise), era el esperado.
4. Cuando aumentamos la temperatura a un Fluido Magnetorreológico que tiene una densidad de campo magnético aplicada, disminuye su viscosidad (de 1'648.000 a 1'400.000 centipoise). Esto es algo que se esperaba porque la viscosidad es una propiedad sensible a las variaciones térmicas.
5. La viscosidad del Fluido Magnetorreológico sin densidad de campo magnético disminuyó (15.840 a 80 centipoise). Este hecho se esperaba porque la suspensión tiende a separarse, porque no tiene aditivos viscosificadores que retarden el proceso de asentamiento (fluido casero). También, la velocidad de caída variable de las partículas de hierro provocó la fluctuación en los valores de la viscosidad.
6. La viscosidad del Fluido Magnetorreológico completamente asentado (80 centipoise), era ligeramente mayor a la del aceite 3 en 1 (60 centipoise). Esta diferencia se debe a que la suspensión

también tiene grasa en su composición, lo que aumenta el valor de la viscosidad.

7. La masa máxima que puede soportar el Prototipo Magnetorreológico sin presentar movimiento es de 1,5 Kilogramos. Esto generó una fuerza de 14,7 Newton.
8. La bobina del actuador presentaba menor resistencia ( $0,8 \Omega$ ) que la bobina usada para determinar la viscosidad del Fluido Magnetorreológico ( $1,4 \Omega$ ). Dado que el voltaje era el mismo para ambos casos, la corriente de la primera (15,31 Amperios) era superior a la de la segunda (8,75 Amperios). Por esta razón la bobina del actuador cilíndrico se calentaba más rápido, y por ende la temperatura del prototipo y del Fluido Magnetorreológico también subía.
9. La potencia total disipada por la batería es de 197,60 W. La mayor parte de esta potencia se disipa por la resistencia de la carga (94,90%).
10. El costo mensual de funcionamiento del Prototipo Magnetorreológico propuesto es de 5,50 dólares. Este valor

corresponde al consumo energético del cargador de la batería; ya que el actuador cilíndrico funciona con una fem.

### **Recomendaciones.**

Para futuros estudios que se realicen en este campo, se recomienda lo siguiente:

1. Por la tendencia al asentamiento que presenta este Fluido Magnetorreológico casero, es necesario que se lo esté mezclando constantemente.
2. Se recomienda usar aditivos reológicos inertes (viscosificadores) para mejorar el asunto de la separación de elementos en el Fluido Magnetorreológico.
3. Aumentar meticulosamente el porcentaje de las partículas de hierro por volumen, con la finalidad de llegar a los niveles de operación de los cilindros neumáticos convencionales. Sin olvidar que este porcentaje debe estar entre el 20% y 40%, porque sino crearía inconvenientes en el momento de aplicar el campo magnético requerido.

4. En todos los ensayos en que se utilice una bobina para crear el campo magnético, es recomendable dejar enfriar a ésta entre mediciones; ya que, la elevada temperatura que presenta puede modificar los valores de la viscosidad a obtener. También hay que tener cuidado en el momento de manipularla, porque podría originar leves quemaduras en nuestra piel.
  
5. Es importante medir frecuentemente el potencial eléctrico de la batería, para asegurarse de estar trabajando en márgenes óptimos. Además, la disminución en el voltaje, ocasiona una reducción en la corriente; y por consiguiente, un descenso en el valor de la densidad de campo magnético.

## BIBLIOGRAFIA

1. AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC. (AISC).  
Manual of Steel Construction, Load & Resistance Factor Design,  
Volume I. Segunda edición. Estados Unidos, 1994. Páginas: 1-54 a 1-  
55.
2. AVALLONE, EUGENE A.; BAUMEISTER, THEODORE III. Marks,  
Manual del Ingeniero Mecánico, Tomos 1 y 2. Tercera edición.  
McGraw-Hill Interamericana Editores, S. A. de C. V. México, 2003.  
Páginas: 3-37 a 3-42, 15-2 a 15-14.
3. FESTO AG & Co. KG. Catálogo de Productos 2004. CD #1.
4. FOX, ROBERT W.; McDONALD, ALAN T. Introducción a la Mecánica  
de Fluidos. Segunda edición. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.  
A. de C. V. México, 1997. Páginas: 29 a 34.

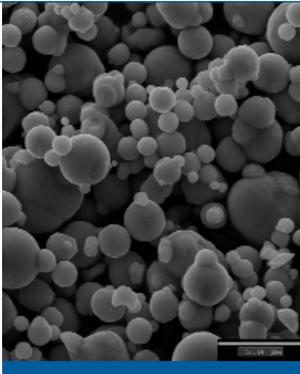
5. SEARS, FRANCIS W.; ZEMANSKY, MARK W.; YOUNG, HUGH D.; FREEDMAN, ROGER A. Física Universitaria, Volumen 2. Undécima edición. Editorial Pearson Education. México, 2004. Páginas: 1019 a 1204.
6. SERWAY, RAYMOND A. Física, Tomo II. Cuarta edición. McGraw-Hill Interamericana Editores, S. A. de C. V. México, 1996. Páginas: 649 a 925.
7. TIPPENS, PAUL E. Física, Conceptos y Aplicaciones. Segunda edición. McGraw-Hill Interamericana Editores, S. A. de C. V. México, 1994. Páginas: 731 a 750.
8. [www.boschecuador.com](http://www.boschecuador.com)
9. [www.cyclo.com](http://www.cyclo.com)
10. [www.inorganics.basf.com](http://www.inorganics.basf.com)
11. [www.lord.com](http://www.lord.com)
12. [www.wd40.com/Brands/3in1.cfm](http://www.wd40.com/Brands/3in1.cfm)

13. Fórmula del Dr. J. David Carlson, Señor Engineering Fellow, Lord Corporation.

<b>Fluido Reonético</b>	<b><i>MRF-122-2ED</i></b>	<b><i>MRF-132AD</i></b>	<b><i>MRF-241ES</i></b>	<b><i>MRF-240BS</i></b>	<b><i>MRF-336AG</i></b>
<b>Líquido Base</b>	Hidrocarburo	Hidrocarburo	Agua	Agua	Silicona
<b>Compatibilidad</b>	No compatible con hule natural o formulaciones sintéticas de hule de base hidrocarburífera.	No compatible con hule natural o formulaciones sintéticas de hule de base hidrocarburífera.	No recomendado para usos prolongados con sellos dinámicos.	No compatible con aluminio. No recomendado para usos prolongados con sellos dinámicos.	Compatible con hule natural. No recomendado para usos prolongados con sellos dinámicos.
<b>Clase de Sistema</b>	Abierto o cerrado	Abierto o cerrado	Cerrado	Cerrado	Cerrado
<b>Temperatura</b>	-40°C a 130°C	-40°C a 130°C	-10°C a 70°C	-10°C a 70°C	-40°C a 150°C
<b>Viscosidad (valores típicos)</b>	0.07 Pa-s ± 0.02 Pa-s	0.09 Pa-s ± 0.02 Pa-s	10.8 Pa-s ± 1.5 Pa-s	13.6 Pa-s	8.5 Pa-s
<b>Separación (observaciones de laboratorio)</b>	Desarrolla capa clara de aproximadamente 20% del volumen en un recipiente de 1 litro, después de 6 meses de almacenamiento a 25°C.	Desarrolla capa clara de aproximadamente 20% del volumen en un recipiente de 1 litro, después de 6 meses de almacenamiento a 25°C.	Desarrolla capa clara de aproximadamente 4% del volumen en un recipiente de 1 litro, después de 6 meses de almacenamiento a 25°C.	Desarrolla capa clara de aproximadamente 5% del volumen en un recipiente de 1 litro, después de 6 meses de almacenamiento a 25°C.	Desarrolla capa clara de aproximadamente 12% a 20% del volumen en un recipiente de 1 litro, después de 4 a 6 meses de almacenamiento a 25°C.
<b>Aplicaciones</b>	Multipropósito (impacto, oscilación, amortiguadores).	Multipropósito (amortiguadores, frenos, montajes).	Montajes, dispositivos de demostración, juguetes.	Montajes, dispositivos de demostración, juguetes.	Montajes, amortiguadores.

## PRODUCT INFORMATION

### Carbonyl Iron Powder CC

<b>SEM-View</b>		 <p style="text-align: right;">Enlargement 1:5000</p>
<b>Properties</b>	Carbonyl iron powder CC is a SiO <sub>2</sub> -coated, mechanically soft powder.	
<b>Typical Data</b>	Iron	> 99.5 %
	Carbon	< 0.05 %
	Oxygen	< 0.3 %
	Nitrogen	< 0.01 %
	SiO <sub>2</sub> Coating	0.1 %
	Particle Size Distribution:	
	d10	3 μm
	d50	5 μm
	d90	10 μm
	Tap Density	3.9 – 4.1 g/cm <sup>3</sup>
<b>Packaging</b>	Standard packaging: 100 kg or 200 lbs. Smaller packaging on request.	
<b>Safety</b>	Dust explosion hazard.	
<b>Product Specification</b>	Our product specification is available on request. Specified limit values can be agreed with us individually.	

Note: The information submitted in this publication is based on our current knowledge and experience. In view of the many factors that may affect processing and application, these data do not relieve processors of the responsibility of carrying out their own tests and experiments; neither do they imply any legally binding assurance of certain properties or of suitability for a specific purpose. It is the responsibility of those to whom we supply our products to ensure that any proprietary rights and existing laws and legislation are observed.

Heavy Duty  
**WHITE GREASE**  
 Lithium  
 Stock No. C-34



**Superior Liquified Formula Lubricating Grease  
 Remains SOFT & PLIABLE without DRYING OUT**

Cyclo's unique blend of greases sprays on as a liquid, penetrates, then sets up as a lubricating grease. Excellent for applications with close tolerances where metal to metal & metal to plastic lubrication & lasting protection are desired. Works well in both high & low temperatures, and in all types of weather.

- FORMULATED for general purpose automotive, marine, industrial, farm and home lubrication use.
- SPRAYS ON as a liquid, penetrates, then sets up as a heavy duty lubricating grease that reduces friction and wear.
- REMAINS SOFT and pliable without drying out, melting or running.
- PROVIDES superior lubrication for metal to metal and metal and plastic applications; eliminates squeaks.
- PROVIDES excellent high and low temperature lubrication protection.
- REPELS MOISTURE to maintain superior lubrication in all types of weather.
- EXCELLENT for all general lubrication applications where long lasting protection is desired.

PRODUCT USES: Hinges & latches, shackles, gears, battery terminals, striker plates, locks, window linkage, springs, winches, bearings, trailer rollers, slides & guides, speedometer cables, machinery, conveyors, pumps, chains, bearings, pulleys, garage door openers, fishing reels, guns, tools, lawn & gardens equipment, bicycles, etc.

## PHYSICAL PROPERTIES



Size:	Net Wt 11 oz/312g	UPC (Can)	0 89269 00034 1
Package:	Aerosol Can	UPC (Ctn)	1 00 89269 00034 8
Flash Point:	<-20°F	Cases per pallet:	152
Boiling Point:	Not determined	Cases per layer:	19
Specific Gravity (H <sub>2</sub> O=1):	0.8 g/mL	Layers per pallet:	8
Appearance:	Tan opaque solution	Cube:	0.45
Solubility in Water:	Insoluble	Case Weight:	11.9
Volatile by Volume:	40%		



# CYCLO<sup>®</sup> INDUSTRIES, LLC

## MATERIAL SAFETY DATA SHEET

This MSDS is being provided to your company for the purpose of providing current health and safety information to your management and for your employees who work with this product. Please read the information on these sheets and then provide this information to those people at your company whose responsibility it is to comply with FEDERAL, STATE and COMMUNITY RIGHT TO KNOW regulations. Also, make this information available to any employee who requests it.

If Cyclo Industries, LLC considers the formula of this product to be a trade secret, the exact chemical names of the ingredient(s) and the percentages in which they are combined will not appear in the body of this sheet. The exact composition is available upon request to physicians, industrial hygienists and other health professionals.

### SECTION 1 – PRODUCT & COMPANY IDENTIFICATION

**Product Name:** Cyclo<sup>®</sup> White Grease, Stock No. C-34

**Product Use:** Liquified formula lubricating grease. Remains soft and pliable without drying out. Excellent for applications with close tolerances where metal to metal and metal to plastic lubrication and lasting protection are desired. Works well in both high and low temperatures and in all types of weather.

**Manufactured by:** Cyclo Industries, LLC, 401 Maplewood Drive, Suite 18, Jupiter, FL 33458  
Telephone: (561) 775-9600

**First Aid Emergency:** (800) 752-7869 or (312) 906-6194

**Shipping Emergency:** (800) 424-9300 or (703) 527-3887 (CHEMTREC)

### SECTION 2 – COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

CAS Reg. No.	Material	Percentage	Exposure Limits
142-82-5	Heptane	30 – 60	400 ppm TLV
68476-86-8	Propane – isobutate blend	20 – 30	1000 ppm TLV
64742-52-5	Mineral Oil	25 – 35	Not available
1314-13-2	Zinc Oxide	1 – 5	Not available
68309-87-5	Calcium Thickener	1 – 10	Not available

### SECTION 3 – HAZARDS IDENTIFICATION

**Effects of Overexposure:**

**Ingestion:** ASPIRATION HAZARD! Small amounts of this product aspirated into the respiratory system during ingestion or vomiting may cause mild to severe pulmonary injury, possibly progressing to death in some cases.

**Inhalation:** High vapor/aerosol concentrations (greater than approximately 1000 ppm) are irritating to the eyes and the respiratory tract, may cause headaches, dizziness, anesthesia, drowsiness, unconsciousness and other central nervous system effects, including death in some individuals.

**SECTION 3 – HAZARDS IDENTIFICATION continued****Effects of Overexposure continued:**

- Skin Contact: Frequent or prolonged contact may cause irritation and dermatitis. Can cause severe freeze burns similar to frost bite if sprayed directly onto skin.
- Eye Contact: Can cause severe irritation, redness, tearing, blurred vision and possible freeze burns.

**Carcinogenicity:** NTP Carcinogen = No; IARC Monographs = No; OSHA Regulated = No

**SECTION 4 – FIRST AID MEASURES****First Aid Procedures:**

- Ingestion: DO NOT induce vomiting. Contact a physician immediately.
- Skin Contact: Wash with soap and water. Remove grossly contaminated clothing, including shoes and launder before reuse.
- Inhalation: Remove to fresh air. Administer oxygen if needed. Call for prompt medical attention.
- Eye Contact: Flush with plenty of water for at least 15 minutes. Contact a physician if irritation persists.

**SECTION 5 – FIRE FIGHTING MEASURES**

**Flash Point:** <-4°F (<-20°C) **Method Used:** TCC

**Flammable Limits in Air by Volume:** Not determined

**Extinguishing Media:** Dry chemical, foam, carbon dioxide

**Special Fire Fighting Procedures:** The use of self-contained breathing apparatus is recommended for fire fighters. Water may be unsuitable as an extinguishing media, but helpful in keep adjacent containers cool. Avoid spreading burning liquid with water used for cooling purposes.

**Unusual Fire and Explosion Hazards:** Prolonged exposure to temperatures above 130°F may cause cans to burst.

**SECTION 6 – ACCIDENTAL RELEASE MEASURES**

**Spill/Leak Procedures:** Pick up excess with absorbent material and discard in accordance with regulations.

**SECTION 7 – HANDLING AND STORAGE**

**Handling & Storage Procedures:** Contents under pressure. Do not store below 32°F or above 130°F. Do not puncture or incinerate containers. Do not use or store near heat, sparks or open flame. Use with ventilation. See product label for additional information. KEEP OUT OF THE REACH OF CHILDREN.

**SECTION 8 – EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION**

**Respiratory Protection:** Not normally required.

**Ventilation:** Local Exhaust: Recommended  
Special: None  
Mechanical (General): Acceptable

**Protective Gloves:** Rubber gloves

**Eye Protection:** Safety glasses

**Work/Hygienic Practices:** Eye washes and safety showers in the workplace are recommended.

**SECTION 9 – PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES**

**Boiling Point:** 550°F (288°C)

**Specific Gravity (H<sub>2</sub>O=1):** 0.81

**Vapor Pressure:** Not available

**Vapor Density (Air=1):** Not available

**Percent Volatile By Weight (%):** 62.5

**Percent Solids By Weight (%):** ~38

**Solubility in Water:** Insoluble

**pH:** Not available

**Evaporation Rate (Butyl Acetate = 1):** Not determined

**Appearance and Odor:** Almond white

**Volatile Organic Compound (VOC) (as packaged minus water):** 62.5%

**SECTION 10 – STABILITY AND REACTIVITY**

**Stability:** Stable

**Conditions to Avoid:** Temperatures above 130°F

**Incompatibility (materials to avoid):** None

**Hazardous Decomposition or Byproducts:** None

**Hazardous Polymerization:** Will not occur

**SECTION 11 – TOXICOLOGICAL INFORMATION**

**Toxicological Data:** Long-term toxicological studies have not been conducted for this product. See Section 3 of this MSDS for acute symptoms of overexposure and carcinogenicity information.

<b>SECTION 12 – ECOLOGICAL INFORMATION</b>
--

**Aquatic/Terrestrial Toxicity Environmental Fate** No data is available at this time.

<b>SECTION 13 – DISPOSAL CONSIDERATIONS</b>
---

**Waste Disposal Method:** Dispose of in accordance with local, state and federal regulations. Before attempting clean up, refer to other sections of this MSDS for hazard caution information.

<b>SECTION 14 – TRANSPORT INFORMATION</b>
---

<b>U.S. DOT</b>	<p><b>Shipping Description:</b> Aerosol, Consumer Commodity</p> <p><b>ID Number:</b> Not regulated</p> <p><b>Hazard Class:</b> ORM-D</p> <p><b>Packing Group:</b> Not applicable</p> <p><b>Label:</b> Not applicable</p> <p><b>Placards:</b> Not applicable</p>
-----------------	---

<b>IMDG</b>	<p><b>Shipping Description:</b> Aerosol, Limited Quantity</p> <p><b>ID Number:</b> UN1950</p> <p><b>Hazard Class:</b> 2</p> <p><b>Packing Group:</b> Not applicable</p> <p><b>Label:</b> Not applicable</p> <p><b>Markings:</b> Not applicable</p> <p><b>Placards:</b> Not applicable</p>
-------------	---

<b>SECTION 15 – REGULATORY INFORMATION</b>
--

**TSCA Inventory:** All components of this product are listed on the Toxic Substance Control Act (TSCA) Inventory of chemical substances maintained by the U.S. Environmental Protection Agency.

**SARA Extremely Hazardous Substances (Section 302 of Title III – 29 CFR Part 1910.1200(c)):** None

**SARA Toxic Release Chemicals (Section 313 of Title III – 40 CFR Part 372):** This product does not contain any toxic chemicals subject to the reporting requirements.

**CERCLA/Superfund (RQ):** This product is not subject to CERCLA reporting requirements. Many states have more stringent release reporting requirements. Report spills required under federal, state and local regulations.

**California Proposition 65:** This product does not contain chemicals known to the State of California to cause cancer, birth defects and other reproductive harm.

**SECTION 16 – OTHER INFORMATION**

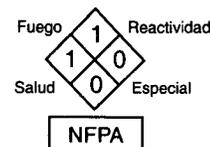
**Document Date:** December 29, 2005

**Supersedes:** 12/31/05

**Revisions:** Section I: Address.

---

Cyclo Industries, LLC provides the information contained herein in good faith but makes no representation as to its comprehensiveness or accuracy. Individuals receiving this information must exercise their independent judgement in determining its appropriateness for a particular purpose. Cyclo Industries, LLC makes no representations or warranties, either expressed or implied, of merchantability, fitness for a particular purpose with respect to the information set forth herein or to the product to which the information refers. Accordingly, Cyclo Industries, LLC will not be responsible for damages resulting from use of or reliance upon this information.



# HOJA DE DATOS DE MATERIALES

## I. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Fabricante:	WD-40 Company	Teléfono:	
Dirección:	1061 Cudahy Place (92110) P.O. Box 80607 San Diego, California 92138-0607 E.U.A.	En caso de emergencia : Información: Nombre químico: Marcas Registradas:	1 (800) 424-9300 01-703-527-3887 (CHEMTREC) (619) 275-1400 Mezcla Orgánica Three-In-One Multi-Purpose Oil Tres-En-Uno Aceite Multi-Usos

## II. INGREDIENTES PELIGROSOS

Nombre químico	Número de CAS	%	Límite de Exposición ACGIH/OSHA**
Aceite Nafténico Pesado Severamente Hidrotratado	64742-52-5	>97	5mg/m <sup>3</sup> TWA (vapor)
Ingredientes no peligrosos		<3	

## III. DATOS FISICOS

Apariencia:	Líquido ámbar claro	Volátiles:	Ninguno
Olor:	Leve olor a citronella	pH:	No se aplica
Punto de Ebullición:	Mayor que 550°F	Gravedad específica:	0.886-0.923 a 20°C
Punto de Congelación:	No se aplica	Presión de vapor:	No se ha determinado
Solubilidad en Agua:	Insoluble	Densidad del vapor (Aire=1)	No se ha determinado

## IV. EXPLOSIÓN Y FUEGO

Punto de inflamación:	Más de 305°F TOC
Extensión de la flama:	No se aplica
Método de Extinción:	CO <sub>2</sub> , Compuestos químico secos, Espuma, Agua.
Procedimientos Contra Incendios:	Utilice agua para mantener fríos los envase expuestos al fuego.

## V. RIESGOS A LA SALUD/RUTA(S) DE ENTRADA

<b>Síntomas de exposición excesiva:</b>	
<b>Inhalación (respiración):</b>	Puede causar anestesia, dolor de cabeza, mareos, náusea e irritación respiratoria.
<b>Contacto a la piel:</b>	Puede causar sequedad de la piel y/o irritación.
<b>Contacto ocular:</b>	Puede causar lágrimas e irritación en los ojos.
<b>Ingestión (tragar):</b>	Puede causar irritación, náusea, vómito y diarrea.
<b>Procedimientos de primeros auxilios:</b>	
<b>Ingestión (tragar):</b>	No se debe inducir el vómito. Busque atención médica inmediata.
<b>Contacto ocular:</b>	Lave los ojos inmediatamente con agua por 15 minutos.
<b>Contacto con la piel:</b>	Lave con agua y jabón.
<b>Inhalación (respiración):</b>	Retirar la persona hacia la circulación de aire fresco. Si es necesario, proceda a dar respiración artificial. Si tiene dificultad en respirar, administre oxígeno.
<b>¡PELIGRO!</b>	
<b>Riesgos al Aspirar:</b>	Si es ingerido, puede entrar a los pulmones y causar neumonitis química. No induzca el vómito. Llame inmediatamente al médico.
<b>Agentes Cancerígeno</b>	
Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> X <input checked="" type="checkbox"/>	Los componentes de esta mezcla han sido analizados por NTP, IARC y OSHA y se ha determinado que estos componentes no son cancerígenos.



# Safety data sheet

## Carbonyl Iron Powder CC

Revision date : 2005/06/15  
Version: 1.0

Page: 1/6  
(30053831/MDS\_GEN\_US/EN)

### 1. Substance/preparation and company identification

#### Company

BASF CORPORATION  
100 Campus Drive  
Florham Park, NJ 07932

#### 24 Hour Emergency Response Information

CHEMTREC: (800) 424-9300  
BASF HOTLINE: (800) 832-HELP

---

Molecular formula:	FE (TRACES OF C, N, AND O)
Molecular weight:	55.85 g/mol
Chemical family:	metal powder
Synonyms:	CARBONYL IRON POWDER

### 2. Composition/information on ingredients

---

<u>CAS Number</u>	<u>Content (W/W)</u>	<u>Chemical name</u>
7439-89-6	>= 99.5 %	Carbonyl iron powder
7782-44-7	<= 0.3 %	Oxygen
7631-86-9	0.1 %	Silicon dioxide

### 3. Hazard identification

#### Emergency overview

CAUTION: INHALATION OF DUSTS MAY CAUSE PNEUMOCONIOSIS.  
MAY CAUSE EYE, SKIN AND RESPIRATORY TRACT IRRITATION.  
INGESTION MAY CAUSE GASTRIC DISTURBANCES.  
CAUSES SKIN BURNS.  
CAUSES EYE BURNS.  
Use with local exhaust ventilation.  
Wear a NIOSH-certified (or equivalent) particulate respirator.  
Wear NIOSH-certified chemical goggles.  
Wear protective clothing.

#### Potential health effects

##### **Primary routes of exposure**

Routes of entry for solids and liquids include eye and skin contact, ingestion and inhalation. Routes of entry for gases include inhalation and eye contact. Skin contact may be a route of entry for liquified gases.

##### **Irritation:**

Irritating to eyes and skin.

##### **Repeated dose toxicity:**

*Information on: Iron*

*Long-term inhalation of iron results in siderosis, a benign pneumoconosis.*

# Safety data sheet

## Carbonyl Iron Powder CC

Revision date : 2005/06/15  
Version: 1.0

Page: 2/6  
(30053831/MDS\_GEN\_US/EN)

### Information on: Iron Oxide

*Chronic overexposure to iron oxide fume or dust has been associated with x-ray changes of the lungs; however, it does not result in illness. Changes are due to a benign lung condition called siderosis, or iron pigmentation. Animal studies indicate that chronic overexposure to iron oxide dust does not cause lung impairment or fibrosis. However, workers exposed to iron oxide fume in the presence of silica may develop mixed dust pneumoconiosis. Direct contact with dust or fume may result in burns to the skin and eyes and may produce damage.*

---

## 4. First-aid measures

### If inhaled:

Keep patient calm, remove to fresh air. Assist in breathing if necessary. Consult a physician.

### If on skin:

Wash thoroughly with soap and water.

### If in eyes:

Immediately wash affected eyes for at least 15 minutes under running water with eyelids held open, consult an eye specialist.

---

## 5. Fire-fighting measures

Autoignition: > 250 °C

### Suitable extinguishing media:

water spray

### Hazards during fire-fighting:

Iron oxide,

The substances/groups of substances mentioned can be released in case of fire.

### Protective equipment for fire-fighting:

Firefighters should be equipped with self-contained breathing apparatus and turn-out gear.

### NFPA Hazard codes:

Health : 1      Fire: 2      Reactivity: 0      Special:

---

## 6. Accidental release measures

### Personal precautions:

Avoid dust formation.

### Environmental precautions:

This product is not regulated by RCRA. This product is not regulated by CERCLA ('Superfund').

### Cleanup:

For large amounts: Dampen, pick up mechanically and dispose of.

For residues: Dampen, pick up mechanically and dispose of.

---

# Safety data sheet

## Carbonyl Iron Powder CC

Revision date : 2005/06/15  
Version: 1.0

Page: 3/6  
(30053831/MDS\_GEN\_US/EN)

### 7. Handling and storage

#### Handling

**General advice:**

Keep away from sources of ignition - No smoking. Avoid dust formation. Take precautionary measures against static discharges. Handle with care - avoid bumps, friction and impact.

**Protection against fire and explosion:**

Dust can form an explosive mixture with air.

#### Storage

**General advice:**

Keep away from heat. Keep container tightly closed.

**Storage incompatibility:**

General: Segregate from acids.

**Storage stability:**

Protect against moisture.

### 8. Exposure controls and personal protection

#### Components with workplace control parameters

Silicon dioxide	OSHA	TWA value 20 millions of particles per cubic foot of air ;
		TWA value 0.8 mg/m <sup>3</sup> ;
	ACGIH	TWA value 10 mg/m <sup>3</sup> ; ;

**Advice on system design:**

Provide local exhaust ventilation to maintain recommended P.E.L.

#### Personal protective equipment

**Respiratory protection:**

Wear a NIOSH-certified (or equivalent) particulate respirator. Do not exceed the maximum use concentration for the respirator facepiece/cartridge combination.

**Hand protection:**

Chemical resistant protective gloves

**Eye protection:**

Tightly fitting safety goggles (chemical goggles).

**General safety and hygiene measures:**

Wear protective clothing as necessary to minimize contact. Wash soiled clothing immediately.

### 9. Physical and chemical properties

Form:	powder
Odour:	odourless
Colour:	grey
Melting point:	1,535 °C
Boiling point:	2,730 °C

# Safety data sheet

## Carbonyl Iron Powder CC

Revision date : 2005/06/15  
Version: 1.0

Page: 4/6  
(30053831/MDS\_GEN\_US/EN)

---

Density:	7.8 g/cm <sup>3</sup>	
Bulk density:	3,000 - 4,000 kg/m <sup>3</sup>	
Partitioning coefficient n- octanol/water (log Pow):	-0.77	
Solubility in water:		insoluble

---

### 10. Stability and reactivity

**Conditions to avoid:**

Avoid heat. Avoid dust formation.

**Substances to avoid:**

No data available.

**Hazardous reactions:**

Dust explosion hazard. Contact with acids liberates hydrogen gas.

**Decomposition products:**

No hazardous decomposition products known.

**Thermal decomposition:**

No data available.

**Corrosion to metals:**

No corrosive effect on metal.

---

### 11. Toxicological information

**Acute toxicity****Oral:**

LD50/rat: > 5,000 mg/kg

**Chronic toxicity****Experiences in humans:**

Can irritate the eyes.

---

### 12. Ecological information

**Environmental fate and transport****Biodegradation:**

Evaluation:

Inorganic product which cannot be eliminated from water by biological purification processes.

The product is not very soluble in water and can thus be removed from water mechanically in suitable effluent treatment plants.

# Safety data sheet

## Carbonyl Iron Powder CC

Revision date : 2005/06/15  
Version: 1.0

Page: 5/6  
(30053831/MDS\_GEN\_US/EN)

### **Bioaccumulation:**

Because of the n-octanol/water distribution coefficient (log Pow) accumulation in organisms is not to be expected.

### **Environmental toxicity**

#### **Acute and prolonged toxicity to fish:**

DIN 38412 Part 15 golden orfe/LC50 (96 h): > 10,000 mg/l

#### **Other ecotoxicological advice:**

Inhibition of degradation activity in activated sludge is not to be anticipated during correct introduction of low concentrations. Do not release untreated into natural waters.

---

## 13. Disposal considerations

### **Waste disposal of substance:**

Contact waste centre regarding recycling.  
Must be disposed of by special means, e.g. suitable dumping after chemical/physical pretreatment (consolidation).  
Observe all local regulations.

### **Container disposal:**

Contaminated packaging should be emptied as far as possible; then it can be passed on for recycling after being thoroughly cleaned.

---

## 14. Transport information

Reference Bill of Lading

---

## 15. Regulatory information

### **Federal Regulations**

#### **Registration status:**

TSCA, US released / listed

**OSHA hazard category:** Skin and/or eye irritant, Chronic target organ effects reported

**SARA hazard categories (EPCRA 311/312):** Chronic, Acute

### **State regulations**

#### **State RTK**

**CAS Number**  
7631-86-9

**Chemical name**  
Silicon dioxide

**State RTK**  
MA, NJ, PA

# Safety data sheet

## Carbonyl Iron Powder CC

Revision date : 2005/06/15  
Version: 1.0

Page: 6/6  
(30053831/MDS\_GEN\_US/EN)

---

### 16. Other information

#### HMIS III rating

Health: 1      Flammability: 2      Physical hazard: 0

HMIS uses a numbering scale ranging from 0 to 4 to indicate the degree of hazard. A value of zero means that the substance possesses essentially no hazard; a rating of four indicates high hazard.

---

#### Local contact information

PROD\_STEW\_CA\_CP\_CZ@BASF.COM  
N-CAN

IMPORTANT: WHILE THE DESCRIPTIONS, DESIGNS, DATA AND INFORMATION CONTAINED HEREIN ARE PRESENTED IN GOOD FAITH AND BELIEVED TO BE ACCURATE , IT IS PROVIDED FOR YOUR GUIDANCE ONLY. BECAUSE MANY FACTORS MAY AFFECT PROCESSING OR APPLICATION/USE, WE RECOMMEND THAT YOU MAKE TESTS TO DETERMINE THE SUITABILITY OF A PRODUCT FOR YOUR PARTICULAR PURPOSE PRIOR TO USE. NO WARRANTIES OF ANY KIND, EITHER EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE MADE REGARDING PRODUCTS DESCRIBED OR DESIGNS, DATA OR INFORMATION SET FORTH, OR THAT THE PRODUCTS, DESIGNS, DATA OR INFORMATION MAY BE USED WITHOUT INFRINGING THE INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS OF OTHERS. IN NO CASE SHALL THE DESCRIPTIONS, INFORMATION, DATA OR DESIGNS PROVIDED BE CONSIDERED A PART OF OUR TERMS AND CONDITIONS OF SALE. FURTHER, YOU EXPRESSLY UNDERSTAND AND AGREE THAT THE DESCRIPTIONS, DESIGNS, DATA, AND INFORMATION FURNISHED BY BASF HEREUNDER ARE GIVEN GRATIS AND BASF ASSUMES NO OBLIGATION OR LIABILITY FOR THE DESCRIPTION, DESIGNS, DATA AND INFORMATION GIVEN OR RESULTS OBTAINED, ALL SUCH BEING GIVEN AND ACCEPTED AT YOUR RISK.  
END OF DATA SHEET



# Baterías



## Bajo Mantenimiento

Batería	Descripción	Capacidad C20(Ah)	Descarga Rápida (A) 0°C	25°C	Capacidad Reserva (min)	# de Placas	Caja Tipo	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
<b>6 VOLTIOS</b>										
G4 HEAVY DUTY	G4	140	1000	1200	270	23	4	312	157	243
<b>12 VOLTIOS</b>										
NS40 STANDARD	NS40 ST F	40	420	500	65	9	NS40	193	124	224
NS40 FULL EQUIPO	NS40 FE F NS40 FE I F	45	450	540	72	10				
N40 STANDARD	N40 ST	45	420	500	72	9	N40	238	133	228
N40 FULL EQUIPO	N40 FE N40 FE I	55	500	600	90	11				
42 STANDARD	42 ST	45	420	500	72	9	42	233	174	172
42 FULL EQUIPO	42 FE 42 FE I	55	520	620	90	11				
42 HIGH POWER	42 HP 42 HP I	60	640	770	100	12				
55 FULL EQUIPO	55FE 55FE I	60	620	740	100	12	55L2	240	175	188
66 FULL EQUIPO	66 FE	70	750	900	120	14	66LB	277	174	175
24 STANDARD	24 ST	55	530	640	90	9	24	255	170	224
24 FULL EQUIPO	24 FE 24 FE I	65	620	740	110	11				
24 HIGH POWER	24 HP 24 HP I	80	740	890	140	13				
34 FULL EQUIPO	34 FE 34 FE I	70	650	780	120	13	34	255	170	200
34 HIGH POWER	34 HP 34 HP I	80	780	940	140	15				
27 FULL EQUIPO	27 FE 27 FE I	85	740	890	150	14	27	300	168	224
30H FULL EQUIPO	30H FE	90	780	940	160	15	30H	338	162	214
30H HEAVY DUTY	30H HD	105	850	1020	190	17				
31 HEAVY DUTY	31 *	105	850	1020	190	17	31	338	162	214
N100 FULL EQUIPO	N100 FE	90	740	890	160	15	N100	390	170	232
N100 HEAVY DUTY	N100 HD	115	950	1140	215	19				
4DLT HEAVY DUTY	4DLT	120	960	1150	225	23	4DLT	494	220	210
N120 HEAVY DUTY	N120	125	1000	1200	230	21	N120	496	180	235
N150 FULL EQUIPO	N150 FE	130	1000	1200	250	21	N150	496	220	236
N150 HEAVY DUTY	N150 HD N150 HD I	140	1100	1320	270	23				
N200 FULL EQUIPO	N200 FE	170	1300	1560	340	27	N200	496	260	244
N200 HEAVY DUTY	N200 HD	205	1500	1800	420	33				

ST= STANDARD FE= FULL EQUIPO HP= HIGH POWER HD= HEAVY DUTY I= TIPO AMERICANO F= BORNE FINO \* BORNE ROSCA



## Lo que usted debe conocer:

### Adhesivo de precaución

**PELIGRO ACIDO** / *Mantener fuera del alcance de los niños*

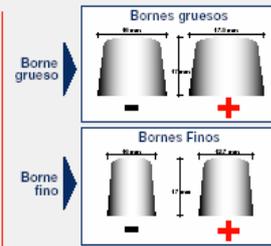


**IMPORTANTE:** Preste atención al contenido de esta etiqueta. Garantiza un seguro y adecuado manejo de las baterías en los lugares de almacenamiento.

### Polaridad del Borne



### Diámetro del Borne



### Datos técnicos (Norma alemana DIN 50342)

<b>BOSCH</b>	
<b>24 HIGH POWER</b>	
20H-CAPACITY	80Ah
COLD CRANKING AMPS (0°C)	740 A
CRANKING AMPS (20°C)	890 A
GROUP	24
VOLTAGE	12 V
RESERVE CAPACITY	140 Min
Capacities according to DIN EN 50342	

**20H-CAPACITY:** Ah (Amperios/hora), la capacidad nominal es una medida de la cantidad de corriente que puede extraerse de una batería durante un determinado tiempo.

**COLD CRANKING AMPS:** Potencia de arranque en frío de una batería medida en Amperios a 0° C.

**CRANKING AMPS:** Potencia de arranque en frío de una batería medida en Amperios a 26° C.

**GROUP:** Tamaño de la caja estándar de cada batería.

**VOLTAGE:** La tensión nominal de una batería resulta de la multiplicación de la tensión de cada celda por el número de celdas.

**RESERVE CAPACITY:** La capacidad de reserva de energía necesaria para el funcionamiento del sistema en un determinado tiempo sin la necesidad de carga y se expresa en minutos.

**IMPORTANTE:** Esta etiqueta es su mejor ayuda para identificar y especificar adecuadamente las baterías.

### La Garantía no opera en los siguientes casos:

- No se presenta el certificado de garantía BOSCH.
- Maltrato físico a la estructura.
- Incorrecta aplicación del producto.
- Mal funcionamiento del sistema eléctrico.
- Adición de ácido o agua acidulada.
- Adulteración de la tarjeta o etiquetas de garantía.
- Sobrecarga.
- Montaje defectuoso o vibración excesiva.

### RECOMENDACIONES:

1. Al retirar la batería vieja, revisar y limpiar el asiento. Sujetar la batería firmemente.
2. Verificar el estado de los terminales. Si están desgastados, sustitúyalos. Al conectarlos hágalo con el polo positivo primero, y luego el negativo. Al desconectarlos, viceversa.
3. Verificar la tensión de carga del alternador. Con el motor y los consumidores encendidos.  
Para vehículos de 12 voltios = entre 13 y 14,5 [V] Para vehículos de 24 voltios = entre 26,0 y 29,0 [V]
4. Chequear la tensión y el estado de la banda del alternador.
5. Con el motor y consumidores apagados, desconectar el polo negativo de la batería y medir con una punta al borne y otra al terminal. La lectura debe ser menor a 0,08 [A]
6. No desconectar la batería con el motor encendido.
7. Mantener los niveles de electrolito controlados. Sólo rellenar con agua desmineralizada.
8. Visitar el Servicio de Baterías Bosch por lo menos cada tres meses.



# Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational (Brookfield type) Viscometer<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 2196; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

## 1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of the apparent viscosity and the shear thinning and thixotropic properties of non-Newtonian materials in the shear rate range from 0.1 to 50 s<sup>-1</sup>.

1.2 *This standard does not purport to address the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

E 1 Specification for ASTM Thermometers<sup>2</sup>

## 3. Summary of Test Method

3.1 Test Method A consists of determining the apparent viscosity of coatings and related materials by measuring the torque on a spindle rotating at a constant speed in the material.

3.2 Test Methods B and C consist of determining the shear thinning and thixotropic (time-dependent) rheological properties of the materials.<sup>3</sup> The viscosities of these materials are determined at a series of prescribed speeds of a rotational-type viscometer. The agitation of the material immediately preceding the viscosity measurements is carefully controlled.

## 4. Significance and Use

4.1 Test Method A is used for determining the apparent viscosity at a given rotational speed, although viscosities at two or more speeds better characterize a non-Newtonian material than does the single viscosity measurement.

4.2 With Test Methods B and C, the extent of shear thinning is indicated by the drop in viscosity with increasing viscometer

speed. The degree of thixotropy is indicated by comparison of viscosities at increasing and decreasing viscometer speeds (Test Method B), viscosity recovery (Test Method B), or viscosities before and after high shear (combination of Test Methods B and C). The high-shear treatment in Test Method C approximates shearing during paint application. The viscosity behavior measured after high shear is indicative of the characteristics of the paint soon after application.

## 5. Apparatus

5.1 Rotational-type viscometers having at least four speeds, such as:

5.1.1 *Brookfield Viscometer*, Model LVF, or equivalent having four rotational speeds, or Model LVT having eight rotational speeds, with set of four spindles; or

5.1.2 *Brookfield Viscometer*, Model RVF, having four rotational speeds, or Model RVT or equivalent having eight rotational speeds, with set of seven spindles.

5.2 *Thermometer*—ASTM thermometer having a range from 20 to 70°C and conforming to the requirements for Thermometer 49C as prescribed in Specification E 1.

5.3 *Containers*, round 1-pt (0.5-L) can, 3<sup>3</sup>/<sub>8</sub> in. (85 mm) in diameter, or 1-qt (1-L) can, 4 in. (100 mm) in diameter.

5.4 *Shaker*, or equivalent machine capable of vigorously shaking the test specimen.

## 6. Materials

6.1 *Standard Oils*, calibrated in absolute viscosity, millipascal seconds.

## 7. Calibration of Apparatus

7.1 Select at least two standard oils of viscosities differing by at least 5 P (0.5 Pa·s) within the viscosity range of the material being measured and in the range of the viscometer. Condition the oils as closely as possible to 25.0°C (or other agreed-upon temperature) for 1 h in a 1-pt (0.5-L) can, 3<sup>3</sup>/<sub>8</sub> in. (85 mm) in diameter. Measure the viscosities of each oil as described in Test Method B (Section 13) taking readings only at increasing speeds (13.7). Make certain that the spindle is centered in the container prior to taking measurements.

NOTE 1—The Brookfield LV and RV series viscometers are equipped with a spindle guard leg. The spindle/speed multiplying factors (Table 1)

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-1 on Paint and Related Coatings, Materials, and Applications and are the direct responsibility of Subcommittee D01.24 on Physical Properties of Liquid Paints and Paint Materials.

Current edition approved April 10, 1999. Published May 1999. Originally published as D 2196 – 63 T. Last previous edition D 2196 – 86 (1991)<sup>ε</sup>1.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.03.

<sup>3</sup> Pierce, P. E., "Measurement of Rheology of Thixotropic Organic Coatings and Resins with the Brookfield Viscometer," *Journal of Paint Technology*, Vol 43, No. 557, 1971, pp. 35–43.

**TABLE 1 Factors for Converting Brookfield Dial Readings to Centipoises (Millipascal Seconds)**

NOTE 1—M = 1000.

Speed, rpm	RV Series Factors Spindles						
	1	2	3	4	5	6	7
0.5	200	800	2000	4000	8000	20M	80M
1	100	400	1000	2000	4000	10M	40M
2	50	200	500	1000	2000	5M	20M
2.5	40	160	400	800	1600	4M	16M
4	25	100	250	500	1000	2.5M	10M
5	20	80	200	400	800	2M	8M
10	10	40	100	200	400	1M	4M
20	5	20	50	100	200	500	2M
50	2	8	20	40	80	200	800
100	1	4	10	20	40	100	400

Speed, rpm	LV Series Factors Spindles			
	1	2	3	4
0.3	200	1000	4000	20M
0.6	100	500	2000	10M
1.5	40	200	800	4M
3.0	20	100	400	2M
6	10	50	200	1M
12	5	25	100	500
30	2	10	40	200
60	1	5	20	100

are designed for use with the guard leg in place except for the following conditions: RV series when the factors are the same with or without the guard leg for spindles No. 3 through 7; or LV series when the factors are the same with or without the guard leg for spindles No. 3 and 4.

7.1.1 Calibration in a 1-pt (0.5-L) can is always possible with the LV series viscometer with the guard leg attached. Calibration of the RV series viscometer in the 1-pt can must be done with spindles No. 3 through 7 without the guard leg. If the No. 1 or No. 2 spindles are to be used, calibration is carried out in the 1-qt (1-L) can with the guard leg attached.

7.2 Combining the tolerance of the viscometer ( $\pm 1\%$ , equal to the spindle/speed factor) and the tolerance of the temperature control (typically  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  at  $25^\circ\text{C}$ ) it is reasonable to assume that a viscometer is calibrated if the calculated viscosities are within  $\pm 5\%$  of the stated values (see Table 2 for examples of the considerable change in viscosity with temperature exhibited by standard oils). If measurements are not made at  $25^\circ\text{C}$ , then the stated viscosities should be corrected to the temperature at which they are measured. If the viscosities determined in 7.1 differ from the stated values of the viscosity standard by more than  $5\%$ , calculate new factors for each spindle/speed combination as follows:

$$f = V/s \quad (1)$$

**TABLE 2 Viscosity Variation of Cannon Viscosity Standards About the  $25^\circ\text{C}$  Temperature Point**

Cannon Viscosity Standard	Viscosity at $25^\circ\text{C}$ , cP (mPa·s)	Viscosity Change With $+1^\circ\text{C}$ at $25^\circ\text{C}$ , cP (mPa·s)
S-600	1 400	87.7 (6.26 %)
S-2000	4 900	332 (6.77 %)
S-8000	20 000	1462.3 (7.31 %)

where:

$f$  = new factor for converting scale reading to viscosity, cP (mPa·s),

$V$  = viscosity of standard oil, mPa·s, and

$s$  = scale reading of the viscometer.

7.3 Prepare a table of new factors similar to that furnished with the viscometer (Table 1) for the spindle/speed combinations worked out in 7.2. Spindle/speed factors vary inversely with speed.

## 8. Preparation of Specimen

8.1 Fill a 1-pt or 1-qt can with sample to within 1 in. (25 mm) of the top with the sample and bring it as close as possible to a temperature of  $25^\circ\text{C}$  or other agreed-upon temperature prior to test.

8.2 Vigorously shake the specimen on the shaker or equivalent for 10 min, remove it from the shaker, and allow it to stand undisturbed for 60 min at  $25^\circ\text{C}$  prior to testing (Note 2). Start the test no later than 65 min after removing the can from the shaker. Do not transfer the specimen from the container in which it was shaken.

NOTE 2—Shake time may be reduced if necessary, or as agreed upon between the purchaser and manufacturer, but, in any case, should not be less than 3 min.

## TEST METHOD A—APPARENT VISCOSITY

### 9. Procedure

9.1 Make all measurements as close as possible to  $25^\circ\text{C}$ , or other agreed-upon temperature.

9.2 Place the instrument on the adjustable stand. Lower the viscometer to a level that will immerse the spindle to the proper depth. Level the instrument using the attached spirit level.

9.3 Tilt the selected spindle (Note 3), insert it into one side of the center of the surface of the material, and attach the spindle to the instrument as follows: Firmly hold the upper shaft coupling with thumb and forefinger; screw left-hand thread spindle coupling securely to the upper shaft coupling being very careful when connecting to avoid undue side pressure which might affect alignment. Avoid rotating the dial so that pointer touches the stops at either extreme of the scale.

NOTE 3—Select the spindle/speed combination that will give a minimum scale reading of 10 but preferably in the middle or upper portion of the scale. The speed and spindle to be used may differ from this by agreement between user and producer.

9.4 Lower the viscometer until the groove (immersion mark) on the shaft just touches the material. Adjust the viscometer level if necessary. Move the container slowly in a horizontal plane until the spindle is located in approximately the center of the container so that the test will be run in a region undisturbed by the lowering of the spindle.

9.5 Turn on the viscometer. Adjust the viscometer to the rpm selected (Note 3) for the material under test. Allow the viscometer to run until the pointer has stabilized (Note 4). After the pointer has stabilized, depress the clutch and switch off the motor so that when it stops, the pointer will be in view (Note 5).

NOTE 4—In thixotropic paints, the pointer does not always stabilize. On occasion it reaches a peak and then gradually declines as the structure is

broken down. In these cases, the time of rotation or number of revolutions prior to reading the viscometer should be agreed to between user and manufacturer.

NOTE 5—Always release the clutch while the spindle is still immersed so that the pointer will float, rather than snap back to zero.

## 10. Calculation

10.1 Calculate the apparent viscosity at each speed, as follows:

$$V = fs \quad (2)$$

where:

$V$  = viscosity of sample in centipoises, mPa·s,

$f$  = scale factor furnished with instrument (see Table 1),  
and

$s$  = scale reading of viscometer.

## 11. Report

11.1 Report the following information:

11.1.1 The Brookfield viscometer model and spindle,

11.1.2 The viscosity at the spindle/speed utilized,

11.1.3 The specimen temperature in degrees celsius, and

11.1.4 The shake time and rest period, if other than specified.

## 12. Precision and Bias

12.1 *Precision*—See Section 23 for precision, including that for measurement at a single speed.

12.2 *Bias*—No statement of bias is possible with this test method.

## TEST METHOD B—VISCOSITY UNDER CHANGING SPEED CONDITIONS, DEGREE OF SHEAR THINNING AND THIXOTROPY

### 13. Procedure

13.1 Make all measurements with the Brookfield viscometer as close as possible to 25°C, or other agreed upon temperature.

13.2 Adjust the instrument and attach the spindle as in 9.2-9.4.

13.3 Set the viscometer at the slowest rotational speed (Note 5 and Note 6). Start the viscometer and record the scale reading after ten revolutions (or other agreed-upon number of revolutions).

NOTE 6—When the eight speed viscometers (RVT and LVT) are used, lower or higher speeds than that permitted by the four speed viscometers may be used upon agreement between producer and user.

13.4 Increase the viscometer speed stepwise and record the scale reading after ten revolutions (or equivalent time for each spindle/speed combination) at each speed. After an observation has been made at the top speed, decrease the speed in steps to the slowest speed, recording the scale reading after ten revolutions (or equivalent time) at each speed.

NOTE 7—It is preferable to change speed when the motor is running.

13.5 After the last reading has been taken at the slowest speed, shut off the viscometer and allow it and the specimen to stand undisturbed for an agreed-upon rest period. At the end of the rest period, start the viscometer at the slowest speed and

record the scale reading after ten revolutions (or other agreed-upon number of revolutions).

## 14. Calculations and Interpretation of Results

14.1 Calculate the apparent viscosity at each speed as shown in Section 9.

14.2 If desired, determine the degree of shear thinning by the following method:

14.2.1 *Shear Thinning Index* (sometimes erroneously called the thixotropic index)—Divide the apparent viscosity at a low rotational speed by the viscosity at a speed ten times higher. Typical speed combinations are 2 and 20 rpm, 5 and 50 rpm, 6 and 60 rpm but selection is subject to agreement between producer and user. The resultant viscosity ratio is an index of the degree of shear thinning over that range of rotational speed with higher ratios indicating greater shear thinning.

14.2.2 A regular or log-log plot of viscosity versus viscometer speed in rpm may also be useful in characterizing the shear-thinning behavior of the material. Such plots may be used for making comparisons between paints or other materials.

14.3 If desired, estimate the degree of thixotropy (under conditions of *limited* shearing-out of structure) by one of the following methods:

14.3.1 Calculate the ratio of the slowest speed viscosity taken with increasing speed to that with decreasing speed. The higher the ratio, the greater the thixotropy.

14.3.2 Calculate the ratio of the slowest speed viscosity taken after the rest period to that before the rest period. The higher the ratio, the greater the thixotropy.

## 15. Report

15.1 Report the following information:

15.1.1 The Brookfield viscometer and spindle,

15.1.2 The viscosities at increasing and decreasing spindle speeds,

15.1.3 The rest period time and the viscosity at the end of that time,

15.1.4 The specimen temperature in degrees celsius, and

15.1.5 The shake time if other than that specified.

15.2 *Optional Reporting*:

15.2.1 *Degree of Shear Thinning*—Shear thinning index and speeds over which it was measured (14.2).

15.2.2 *Estimated Degree of Thixotropy* (under conditions of shearing-out of structure)—Ratio of the lowest speed viscosities, for both increasing and decreasing speeds; or ratio of the lowest speed viscosities before and after the rest period, and speed at which they were measured (14.3).

## 16. Precision and Bias

16.1 *Precision*—See Section 23 for precision, including that for measurement of the shear thinning index (ratio of viscosity at 5 r/min to that at 50 r/min). It has not been possible to devise a method for determining precision for viscosities at increasing and decreasing speeds other than as individual measurements. No attempt was made to determine the precision of the measurement of the degree of thixotropy because this parameter is dependent on the material, the time of the test, and other variables.

16.2 *Bias*—No statement of bias is possible with this test method.

### TEST METHOD C—VISCOSITY AND SHEAR THINNING OF A SHEARED MATERIAL

#### 17. Apparatus

17.1 High-speed laboratory stirrer with speeds of at least 2000 rpm and equipped with a 2-in. (50-mm) diameter circular dispersion blade.<sup>4</sup>

#### 18. Preparation of Specimen

18.1 Insert the 2-in. (50-mm) blade into the center of the can (4.3) so that the blade is about 1 in. (25 mm) from the bottom. Run the mixer at 2000 rpm (Note 8) for 1 min.

NOTE 8—Materials may be sheared at other speeds using other size blades upon agreement between producer and user.

#### 19. Procedure

19.1 Immediately insert the same spindle used in Test Method B into the sheared material in the same manner as in Section 9.

19.2 Start the viscometer and adjust to the highest speed used in Test Method B (13.5). Record the scale reading after ten revolutions (or other agreed-upon number of revolutions).

19.3 Decrease the viscometer speed (Note 7) step-wise and record the scale readings at each speed down to the lowest speed used in Test Method B, recording the scale reading after ten revolutions at each speed (or other agreed-upon number of revolutions).

#### 20. Calculations and Interpretation of Results

20.1 As in Test Method B, calculate the viscosities at each decreasing speed.

20.2 If desired, calculate the degree of shear thinning by the method given in Test Method B, 14.2. The measured viscosity behavior after shearing is essentially that of the paint immediately after application (disregarding changes in solids).

20.3 If desired, estimate the degree of thixotropy (under conditions of *complete* shearing-out of structure) by calculating the ratio of the lowest speed viscosities before and after shear. The lowest speed before-shear viscosity is taken from Test Method B, 14.1, at the lowest increasing speed. The lowest speed after-shear viscosity is taken from 20.1. The higher the ratio, the greater the thixotropy.

#### 21. Report

21.1 Report the following information:

- 21.1.1 The Brookfield viscometer model and spindle,
- 21.1.2 The viscosities at decreasing spindle speeds,
- 21.1.3 The specimen temperature in degrees celsius, and
- 21.1.4 The speed of the high-speed mixer, size of blade, and time of mixing if different from method.

21.2 *Optional Reporting*:

21.2.1 *Degree of Shear Thinning*—*Shear thinning index and speed over which it was measured* (14.2).

21.2.2 *Estimated Thixotropy*—Ratio of lowest speed viscosities before and after shear and the speed at which they were measured.

#### 22. Precision and Bias

22.1 *Precision*—The precision for individual viscosity measurements is the same as for Test Method A in Section 23. No attempt has been made to determine the precision of the shear thinning index or degree of thixotropy for Test Method C for the reasons given in 16.1.

22.2 *Bias*—No statement of bias is possible with this test method.

#### 23. Summary of Precision

23.1 In an interlaboratory study of Test Methods A and B, eight operators in six laboratories measured on two days the viscosities of four architectural paints comprising a latex flat, a latex semi-gloss, a water-reducible gloss enamel, and an alkyd semi-gloss, that covered a reasonable range in viscosities and were shear thinning. Measurements at increasing speeds of 5, 10, 20, and 50 r/min (equivalent to eight operators testing 16 samples) were used to obtain the precision of Test Method A. The within-laboratory coefficient of variation for Test Method A (single speed) was found to be 2.49 % with 121 df and for Test Method B (Shear Thinning Index) 3.3 % with 31 df. The corresponding between-laboratories coefficients are 7.68 % with 105 df and 7.63 % with 27 df. Based on these coefficients the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95 % confidence level:

23.1.1 *Repeatability*—Two results obtained by the same operator at different times should be considered suspect if they differ by more than 7 % relative for single speed viscosity and 9.5 % relative for shear thinning index.

23.1.2 *Reproducibility*—Two results obtained by operators in different laboratories should be considered suspect if they differ by more than 21.6 and 22.1 % relative, respectively, for the same two test methods.

#### 24. Keywords

24.1 Brookfield viscometer; non-Newtonian; rheological properties; rheology; rotational; shear thinning; thixotropic; thixotropy; viscometer; viscosity

<sup>4</sup> Cowles or Shar type mixer/disperser.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.*

### MUESTRA 1

<b>Dato</b>	<b>T<sub>mezcla</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>final</sub> (°C)</b>	<b>Valor</b>	<b>Viscosidad (cP)</b>
1	27	30	20,4	1'632.000
2	27	30	20,6	1'648.000
3	27	30	20,7	1'656.000
4	27	30	20,9	1'672.000
5	27	30	20,6	1'648.000

### MUESTRA 2

<b>Dato</b>	<b>T<sub>mezcla</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>final</sub> (°C)</b>	<b>Valor</b>	<b>Viscosidad (cP)</b>
1	27	30	20,4	1'632.000
2	27	30	20,8	1'664.000
3	27	30	20,4	1'632.000
4	27	30	20,4	1'632.000
5	27	30	20,7	1'656.000

### MUESTRA 3

<b>Dato</b>	<b>T<sub>mezcla</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>final</sub> (°C)</b>	<b>Valor</b>	<b>Viscosidad (cP)</b>
1	27	30	20,5	1'640.000
2	27	30	20,8	1'664.000
3	27	30	20,8	1'664.000
4	27	30	20,4	1'632.000
5	27	30	20,5	1'640.000

A 27°C:

<i>Dato</i>	<i>Muestra</i>	<i>Valor</i>	<i>Viscosidad (cP)</i>
1	1	20,8	1'664.000
2		20,5	1'640.000
3		20,7	1'656.000
4		20,4	1'632.000
5		20,9	1'672.000
6	2	20,3	1'624.000
7		20,7	1'656.000
8		20,8	1'664.000
9		20,8	1'664.000
10		20,7	1'656.000
11	3	20,4	1'632.000
12		20,3	1'624.000
13		20,5	1'640.000
14		20,5	1'640.000
15		20,3	1'624.000

A 47°C:

<i>Dato</i>	<i>Muestra</i>	<i>Valor</i>	<i>Viscosidad (cP)</i>
1	1	19,5	1'560.000
2		19,7	1'576.000
3		19,3	1'544.000
4		19,2	1'536.000
5		19,8	1'584.000
6	2	19,6	1'568.000
7		19,3	1'544.000
8		19,1	1'528.000
9		19,0	1'520.000
10		19,1	1'528.000
11	3	19,3	1'544.000
12		19,0	1'520.000
13		19,3	1'544.000
14		19,9	1'592.000
15		19,9	1'592.000

**A 67°C:**

<b><i>Dato</i></b>	<b><i>Muestra</i></b>	<b><i>Valor</i></b>	<b><i>Viscosidad (cP)</i></b>
1	1	18,8	1'504.000
2		18,7	1'496.000
3		18,5	1'480.000
4		18,1	1'448.000
5		18,3	1'464.000
6	2	18,9	1'512.000
7		18,1	1'448.000
8		18,1	1'448.000
9		18,0	1'440.000
10		18,8	1'504.000
11	3	18,7	1'496.000
12		18,9	1'512.000
13		18,4	1'472.000
14		18,1	1'448.000
15		18,2	1'456.000

**A 87°C:**

<b><i>Dato</i></b>	<b><i>Muestra</i></b>	<b><i>Valor</i></b>	<b><i>Viscosidad (cP)</i></b>
1	1	17,5	1'400.000
2		17,2	1'376.000
3		17,9	1'432.000
4		17,8	1'424.000
5		17,2	1'376.000
6	2	17,5	1'400.000
7		17,2	1'376.000
8		17,1	1'368.000
9		17,9	1'432.000
10		17,1	1'368.000
11	3	17,4	1'392.000
12		17,8	1'424.000
13		17,6	1'408.000
14		17,5	1'400.000
15		17,9	1'432.000

**MUESTRA 1**

<b><i>Dato</i></b>	<b><i>Tiempo (min)</i></b>	<b><i>Valor</i></b>	<b><i>Viscosidad (cP)</i></b>	<b><i>Viscosidad (Pa.s)</i></b>
1	0	11,7	9.360	9,36
2	10	9,3	7.440	7,44
3	20	10,0	8.000	8,00
4	30	9,5	7.600	7,60
5	40	9,8	7.840	7,84
6	50	9,8	7.840	7,84
7	60	11,0	8.800	8,80
8	70	11,5	9.200	9,20
9	80	11,4	9.120	9,12
10	90	12,4	9.920	9,92
11	100	12,5	10.000	10,00
12	110	14,8	11.840	11,84
13	120	13,6	10.880	10,88
14	130	12,9	10.320	10,32
15	140	12,4	9.920	9,92
16	150	14,3	11.440	11,44
17	160	12,6	10.080	10,08
18	170	13,0	10.400	10,40
19	180	11,6	9.280	9,28
20	190	10,8	8.640	8,64
21	200	10,6	8.480	8,48

<b>Dato</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Valor</b>	<b>Viscosidad (cP)</b>	<b>Viscosidad (Pa.s)</b>
22	210	10,4	8.320	8,32
23	220	22,8	18.240	18,24
24	230	23,1	18.480	18,48
25	240	23,8	19.040	19,04
26	250	23,0	18.400	18,40
27	260	23,1	18.480	18,48
28	270	14,2	11.360	11,36
29	280	11,1	8.880	8,88
30	290	10,2	8.160	8,16
31	300	9,0	7.200	7,20
32	310	8,9	7.120	7,12
33	320	9,1	7.280	7,28
34	330	9,0	7.200	7,20
35	340	9,3	7.440	7,44
36	350	10,2	8.160	8,16
37	360	10,7	8.560	8,56
38	370	10,2	8.160	8,16
39	380	9,9	7.920	7,92
40	390	9,6	7.680	7,68
41	400	8,6	6.880	6,88
42	410	20,5	16.400	16,40

<b>Dato</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Valor</b>	<b>Viscosidad (cP)</b>	<b>Viscosidad (Pa.s)</b>
43	420	21,7	17.360	17,36
44	430	20,6	16.480	16,48
45	440	20,8	16.640	16,64
46	450	21,0	16.800	16,80
47	460	22,3	17.840	17,84
48	470	22,0	17.600	17,60
49	480	23,0	18.400	18,40
50	490	22,2	17.760	17,76
51	500	22,8	18.240	18,24
52	510	22,3	17.840	17,84
53	520	20,7	16.560	16,56
54	530	19,6	15.680	15,68
55	540	20,2	16.160	16,16
56	550	19,2	15.360	15,36
57	560	20,5	16.400	16,40
58	570	22,8	18.240	18,24
59	580	23,9	19.120	19,12
60	590	20,1	16.080	16,08
61	600	20,4	16.320	16,32
62	610	19,7	15.760	15,76
63	1540	0,5	400	0,40

**MUESTRA 2**

<b><i>Dato</i></b>	<b><i>Tiempo (min)</i></b>	<b><i>Valor</i></b>	<b><i>Viscosidad (cP)</i></b>	<b><i>Viscosidad (Pa.s)</i></b>
1	0	23,5	18.800	18,80
2	10	12,7	10.160	10,16
3	20	12,0	9.600	9,60
4	30	13,8	11.040	11,04
5	40	13,5	10.800	10,80
6	50	13,1	10.480	10,48
7	60	13,6	10.880	10,88
8	70	14,7	11.760	11,76
9	80	16,0	12.800	12,80
10	90	15,1	12.080	12,08
11	100	15,8	12.640	12,64
12	110	16,5	13.200	13,20
13	120	16,3	13.040	13,04
14	130	15,6	12.480	12,48
15	140	16,0	12.800	12,80
16	150	16,0	12.800	12,80
17	160	17,5	14.000	14,00
18	170	17,3	13.840	13,84
19	180	19,4	15.520	15,52
20	190	18,8	15.040	15,04
21	200	18,5	14.800	14,80

<b>Dato</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Valor</b>	<b>Viscosidad (cP)</b>	<b>Viscosidad (Pa.s)</b>
22	210	18,6	14.880	14,88
23	220	19,1	15.280	15,28
24	230	20,1	16.080	16,08
25	240	21,1	16.880	16,88
26	250	20,8	16.640	16,64
27	260	20,9	16.720	16,72
28	270	21,8	17.440	17,44
29	280	22,6	18.080	18,08
30	290	23,5	18.800	18,80
31	300	23,9	19.120	19,12
32	310	23,3	18.640	18,64
33	320	23,8	19.040	19,04
34	330	23,8	19.040	19,04
35	340	22,9	18.320	18,32
36	350	22,9	18.320	18,32
37	360	22,9	18.320	18,32
38	370	22,8	18.240	18,24
39	380	21,3	17.040	17,04
40	390	21,4	17.120	17,12
41	400	21,0	16.800	16,80
42	410	19,6	15.680	15,68

<b>Dato</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Valor</b>	<b>Viscosidad (cP)</b>	<b>Viscosidad (Pa.s)</b>
43	420	22,0	17.600	17,60
44	430	22,0	17.600	17,60
45	440	23,0	18.400	18,40
46	450	23,0	18.400	18,40
47	460	23,0	18.400	18,40
48	470	23,9	19.120	19,12
49	480	24,4	19.520	19,52
50	490	23,2	18.560	18,56
51	500	23,5	18.800	18,80
52	510	22,9	18.320	18,32
53	520	21,3	17.040	17,04
54	530	20,2	16.160	16,16
55	540	20,9	16.720	16,72
56	550	19,5	15.600	15,60
57	560	20,8	16.640	16,64
58	570	23,4	18.720	18,72
59	580	24,3	19.440	19,44
60	590	20,8	16.640	16,64
61	600	21,1	16.880	16,88
62	610	19,3	15.440	15,44
63	1540	0,5	400	0,40

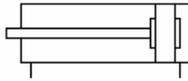
**MUESTRA 3**

<b><i>Dato</i></b>	<b><i>Tiempo (min)</i></b>	<b><i>Valor</i></b>	<b><i>Viscosidad (cP)</i></b>	<b><i>Viscosidad (Pa.s)</i></b>
1	0	24,2	19.360	19,36
2	10	14,4	11.520	11,52
3	20	13,4	10.720	10,72
4	30	13,2	10.560	10,56
5	40	15,8	12.640	12,64
6	50	15,6	12.480	12,48
7	60	16,6	13.280	13,28
8	70	18,9	15.120	15,12
9	80	19,2	15.360	15,36
10	90	20,2	16.160	16,16
11	100	21,5	17.200	17,20
12	110	22,3	17.840	17,84
13	120	24,1	19.280	19,28
14	130	25,0	20.000	20,00
15	140	23,3	18.640	18,64
16	150	25,1	20.080	20,08
17	160	25,0	20.000	20,00
18	170	25,7	20.560	20,56
19	180	26,3	21.040	21,04
20	190	25,5	20.400	20,40
21	200	27,8	22.240	22,24

<b>Dato</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Valor</b>	<b>Viscosidad (cP)</b>	<b>Viscosidad (Pa.s)</b>
22	210	27,0	21.600	21,60
23	220	26,5	21.200	21,20
24	230	26,1	20.880	20,88
25	240	26,4	21.120	21,12
26	250	25,1	20.080	20,08
27	260	25,3	20.240	20,24
28	270	24,7	19.760	19,76
29	280	24,2	19.360	19,36
30	290	24,4	19.520	19,52
31	300	23,6	18.880	18,88
32	310	23,8	19.040	19,04
33	320	24,3	19.440	19,44
34	330	21,6	17.280	17,28
35	340	20,5	16.400	16,40
36	350	21,2	16.960	16,96
37	360	21,3	17.040	17,04
38	370	21,2	16.960	16,96
39	380	20,9	16.720	16,72
40	390	21,0	16.800	16,80
41	400	20,3	16.240	16,24
42	410	21,3	17.040	17,04

<b>Dato</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Valor</b>	<b>Viscosidad (cP)</b>	<b>Viscosidad (Pa.s)</b>
43	420	21,3	17.040	17,04
44	430	19,2	15.360	15,36
45	440	18,6	14.880	14,88
46	450	18,9	15.120	15,12
47	460	21,5	17.200	17,20
48	470	20,0	16.000	16,00
49	480	21,6	17.280	17,28
50	490	21,1	16.880	16,88
51	500	22,0	17.600	17,60
52	510	21,6	17.280	17,28
53	520	20,1	16.080	16,08
54	530	18,9	15.120	15,12
55	540	19,4	15.520	15,52
56	550	18,9	15.120	15,12
57	560	20,2	16.160	16,16
58	570	22,1	17.680	17,68
59	580	23,5	18.800	18,80
60	590	19,4	15.520	15,52
61	600	19,7	15.760	15,76
62	610	20,1	16.080	16,08
63	1540	0,5	400	0,40



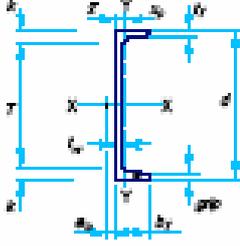


### Cilindros normalizados

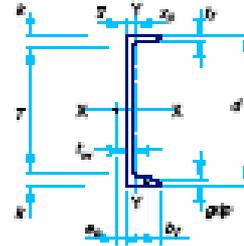
#### DSN-25-80-P

según DIN ISO 6432, CETOP RP 52P

Caracter.	Propiedades
Forma de funcionamiento	De efecto doble
Variantes	vástago simple
Construcción	Émbolo Vástago
Diámetro del émbolo	25 mm
Carrera	80,000 mm
Temperatura ambiente	-20 - 80 °C
Conexión neumática	G1/8
Corresponde a la norma	ISO 6432
Detección de la posición	sin
Amortiguación	anillos elásticos / Placas elásticas en ambos lados (P)
Presión de funcionamiento	1,000 - 10,000 bar
Fuerza teórica con 6 bar, avance	294,500 N
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	247,400 N
Fluido	Aire seco, lubricado o sin lubricado
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2
Información sobre el material de la tapa	Aleación forjable de aluminio Anodizado incoloro
Información sobre el material del vástago	Acero inoxidable de aleación fina
Información sobre el material del cuerpo	Acero inoxidable de aleación fina
Información sobre el material de las juntas	NBR TPE-U(PU)

													
Designation	Area <i>A</i>	Depth <i>d</i>	Web		Flange				Distance		Grip	Max. Flg. Fastener	
			Thickness <i>t<sub>w</sub></i>	$\frac{t_w}{2}$	Width <i>b<sub>f</sub></i>	Thickness <i>t<sub>f</sub></i>	<i>T</i>	<i>k</i>					
			in.	in.	in.	in.	in.	in.					
MC8×25.4 ×23.9	7.47	9.00	0.450	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{4}$	3.500	3 $\frac{1}{2}$	0.550	$\frac{9}{16}$	6 $\frac{5}{8}$	1 $\frac{13}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{3}{4}$
	7.02	9.00	0.400	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{16}$	3.450	3 $\frac{1}{2}$	0.550	$\frac{9}{16}$	6 $\frac{5}{8}$	1 $\frac{13}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{3}{4}$
MC8×22.8 ×21.4	6.70	8.00	0.427	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{16}$	3.502	3 $\frac{1}{4}$	0.525	$\frac{1}{2}$	5 $\frac{5}{8}$	1 $\frac{13}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
	6.28	8.00	0.375	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{16}$	3.450	3 $\frac{1}{2}$	0.525	$\frac{1}{2}$	5 $\frac{5}{8}$	1 $\frac{13}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
MC8×20 ×18.7	5.88	8.00	0.400	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{16}$	3.025	3	0.500	$\frac{1}{2}$	5 $\frac{5}{8}$	1 $\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
	5.50	8.00	0.353	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{16}$	2.978	3	0.500	$\frac{1}{2}$	5 $\frac{5}{8}$	1 $\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
MC8×8.5	2.50	8.00	0.179	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{16}$	1.874	1 $\frac{1}{8}$	0.311	$\frac{9}{16}$	6 $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{8}$
MC7×22.7 ×19.1	6.67	7.00	0.503	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	3.603	3 $\frac{3}{8}$	0.500	$\frac{1}{2}$	4 $\frac{3}{4}$	1 $\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
	5.61	7.00	0.352	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{16}$	3.452	3 $\frac{1}{2}$	0.500	$\frac{1}{2}$	4 $\frac{3}{4}$	1 $\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
MC6×18	5.29	6.00	0.379	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{16}$	3.504	3 $\frac{1}{2}$	0.475	$\frac{1}{2}$	3 $\frac{3}{8}$	1 $\frac{13}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
MC6×16.3 ×15.1	4.79	6.00	0.375	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{16}$	3.000	3	0.475	$\frac{1}{2}$	3 $\frac{7}{8}$	1 $\frac{13}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$
	4.44	6.00	0.316	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{16}$	2.941	3	0.475	$\frac{1}{2}$	3 $\frac{3}{8}$	1 $\frac{13}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$
MC6×12	3.53	6.00	0.310	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{8}$	2.497	2 $\frac{1}{2}$	0.375	$\frac{5}{8}$	4 $\frac{3}{8}$	1 $\frac{13}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{5}{8}$

CHANNELS  
MISCELLANEOUS  
Properties



Nom- inal Wt. per ft	$\bar{x}$	Shear Center Loca- tion $e_s$	PNA Loca- tion $x_p$	Axis X-X				Axis Y-Y			
				$I$	$Z$	$S$	$r$	$I$	$Z$	$S$	$r$
lb	in.	in.	in.	in. <sup>4</sup>	in. <sup>3</sup>	in. <sup>3</sup>	in.	in. <sup>4</sup>	in. <sup>3</sup>	in. <sup>3</sup>	in.
25.4	0.970	0.985	0.411	88.0	23.2	19.6	3.43	7.65	5.23	3.02	1.01
23.9	0.981	1.04	0.385	85.0	22.2	18.9	3.48	7.22	5.05	2.93	1.01
22.8	1.01	1.04	0.415	63.8	18.8	16.0	3.09	7.07	4.88	2.84	1.03
21.4	1.02	1.09	0.449	61.6	18.0	15.4	3.13	6.64	4.71	2.74	1.03
20	0.840	0.843	0.364	54.5	16.2	13.6	3.05	4.47	3.57	2.05	0.872
18.7	0.849	0.889	0.341	52.5	15.4	13.1	3.09	4.20	3.44	1.97	0.874
8.5	0.428	0.542	0.155	23.3	6.91	5.83	3.05	0.528	0.882	0.434	0.501
22.7	1.04	1.01	0.473	47.5	16.2	13.6	2.67	7.29	4.86	2.85	1.05
19.1	1.08	1.15	0.567	43.2	14.3	12.3	2.77	6.11	4.34	2.57	1.04
18	1.12	1.17	0.622	29.7	11.5	9.91	2.37	5.93	4.14	2.48	1.06
16.3	0.927	0.930	0.464	25.0	10.2	8.68	2.33	3.82	3.18	1.84	0.892
15.1	0.940	0.982	0.537	25.0	9.69	8.32	2.37	3.51	3.00	1.75	0.889
12	0.704	0.725	0.292	18.7	7.38	6.24	2.30	1.87	1.79	1.04	0.728