

## EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL CALCIO SOBRE LA DUREZA EL ACERO 10 45

Recibido: 4 de septiembre del 2020.  
Aceptado: 29 de septiembre 2020

E. Lugo Cornejo<sup>1</sup>  
M.G. Guerrero Porras<sup>2</sup>  
T. Lara Loredos<sup>3</sup>  
B. Meza Arteaga<sup>4</sup>

### RESUMEN

Actualmente, en la industria del acero, no está aprobada una metodología de fabricación para elaborar probetas de 1plg, obtenidas de una barra de acero 1045, las que se sometan a un tratamiento térmico con el novedoso método de enfriamiento a base de concentraciones de hidróxido de calcio (cal alimenticia) para llevar a cabo un estudio. Mediante este estudio se comparó la relación que tienen los métodos tradicionales de temple (aceite, agua y salmuera) con la forma experimental de temple a base de hidróxido de calcio; a través del proceso de observación del comportamiento de la dureza en su estado alfa y gama para demostrar que este método experimental es factible para su implementación en los tratamientos térmicos dentro de la industria. Se evaluaron datos estadísticos para comparar dureza y determinar si fueron diferentes a los métodos de enfriamiento tradicional y se midió la existencia de un cambio estructural. Posterior a la aplicación del nuevo método se obtuvieron distintos cambios estructurales dependiendo del cambio de concentrado de hidróxido de calcio, temperatura y tiempo de enfriamiento.

**PALABRAS CLAVE:** Hidróxido de calcio, acero 10 45, métodos de enfriamiento, cambio estructural, aceros.

### ABSTRACT

Currently, in the steel industry, a manufacturing methodology is not approved to produce 1-inch specimens, obtained from a 1045 steel bar, which are subjected to a heat treatment with the novel cooling method based on concentrations of hydroxide of carbon. calcium (dietary lime) to conduct a study. Through this study, the relationship between traditional tempering methods (oil, water and brine) was compared with the experimental form of tempering based on calcium hydroxide; Through the process of observing the behavior of hardness in its alpha and gamma state to demonstrate that this experimental method is feasible for its implementation in heat treatments within the industry. Statistical data were evaluated to compare hardness and determine if they were different from traditional cooling methods and the existence of a structural change was measured. After the application of the new method, different structural changes were obtained depending on the change of calcium hydroxide concentrate, temperature and cooling time.

**KEY WORDS:** Calcium hydroxide, 10 45 steel, cooling methods, structural change, steels.

---

<sup>1</sup> Profesor de Tiempo Completo. TECNM, campus Ciudad Valles. efrain.lugo@tecvalles.mx

<sup>2</sup> Profesor de Tiempo Completo. TECNM, campus Ciudad Valles. guadalupe.guerrero@tecvalles.mx

<sup>3</sup> Estudiante Ingeniería Industrial. TECNM, campus Ciudad Valles 15690110@tecvalles.mx

<sup>4</sup> Profesor de Tiempo Parcial, Departamento de Sistemas y computación. TECNM, campus Ciudad Valles. belem.meza@tecvalles.mx

## INTRODUCCIÓN

Acero, es la denominación que reciben las aleaciones de hierro (Fe) y carbono (C) en las que el contenido de carbono en disolución sólida en el hierro está por debajo del 2,1%. Por tanto, no hay un solo tipo de acero sino muchos aceros diferentes. Tanto el hierro como el carbono se encuentran en altas proporciones en la corteza terrestre, lo que hace que el acero sea un material de alta disponibilidad. (Kalpakjian, 2018)

En relación a las características del acero 1045; SAE 1045 tiene aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Frecuentemente se utiliza para elementos a la llama o por inducción. Este acero puede ser usado en condiciones de suministro; laminado en caliente o con tratamiento térmico (templado en aceite y revenido: o templado en agua y revenido). El acero SAE 1045 es de baja templabilidad que puede ser endurecido totalmente en espesores delgados por temple en agua. En sesiones más gruesas se puede obtener un endurecimiento parcial de la sección de la pieza y el incremento de la resistencia será proporcional a la capa o espesor endurecido, al ser deformado en frío se presenta un incremento en la dureza y la resistencia mecánica. (Morral, 1982)

Actualmente, no existe una metodología para utilizar el calcio como medio de enfriamiento con el fin de lograr una dureza aceptable después del temple del acero mencionado, por consiguiente, se carece de información de las variables de temperatura, tiempo y variaciones del calcio a excepción de los métodos tradicionales de temple.

El temple es un tratamiento térmico que tiene por objetivo aumentar la dureza y resistencia mecánica del material, transformando toda la masa en Austenita con el calentamiento y después, por medio de un enfriamiento brusco (con aceites, agua o salmuera), se convierte en martensita, que es el constituyente duro típico de los aceros templados; es muy importante la fase de enfriamiento y la velocidad alta del mismo, además, la temperatura para el calentamiento óptimo debe ser siempre superior a la crítica para poder obtener de esta forma la martensita. Existen varios tipos de temple, clasificados en función del resultado que se quiera obtener y en función de la propiedad que presentan casi todos los aceros, llamada templabilidad (capacidad a la penetración del temple), que a su vez depende, fundamentalmente, del diámetro o espesor de la pieza y de la calidad del acero. (Askeland, 2016)

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto del calcio en la dureza del acero 1045 mediante el método de temple, así como la preparación de probetas de acero 1045, aplicación de técnicas de proceso de fabricación mecanizado; como lo son el cizallado manual para el corte de la barra de acero y con una máquina fresadora convencional. También se buscó obtener la concentración del calcio bajo el método de prueba y error en el 100% de las probetas e ir disminuyendo los rangos del 25% de concentración en 20 litros de agua. Midiendo la transformación estructural considerando las variables de temperatura, tiempo y calcio a través del gráfico hierro-carburo de hierro y/o hierro-carbono. De obtener respuestas positivas en las propiedades adquiridas sobre la dureza del acero 1045 en el calcio, se pretende tener una incursión al uso industrial, ya que actualmente no hay un registro donde se utilice el calcio como medio de enfriamiento en el proceso de temple en los tratamientos térmicos, para que, al final se pretende utilizar un desecho de la industria de la

nixtamalización, el nejayote, para usarlo en este tratamiento térmico. (López-Maldonado, 2017)

## METODOLOGÍA

Para realizar el estudio experimental se llevaron a cabo diferentes etapas desde el cizallado manual de la barra de acero 1045 para obtener las 32 probetas de una plg., el fresado a las mismas para definir una planicidad uniforme y el proceso de pulido manual.

Se prepararon las muestras, iniciando con 8 probetas para las pruebas con la preparación de las muestras se tomaron 8 para las pruebas con el hidróxido de calcio en un 100%, 75%, 50%, 25% respectivamente de las cuales se tomaron 4 para realizar el ensayo a la dureza sin tener un cambio estructural.

Posteriormente se dividió el área de las probetas en regiones, teniendo como resultado un total de 46 espacios.

Se aplicó el método de letras de código de tamaño de muestra Mil-Std-105E, así como los planes de muestreo único Mil-Std-105E Para inspección normal (tabla maestra) determinando así 8 puntos aleatorios en la probeta para analizar. Y la preparación del durómetro Rockwell.

Se realizaron pruebas con los métodos tradicionales de temple (agua, salmuera, aceite), para elaborar el comparativo de las durezas del acero 1045. Se hace la demostración en las Tablas 1,2,3.

Para representar el cambio estructural de las muestras de acero 1045 en unidades Rockwell B y Rockwell C, así como su conversión en kilogramo fuerza (kg/f) fueron utilizados los promedios de dureza utilizando para ello gráficos estadísticos, mientras que para el análisis múltiple de medias de los contenidos de hidróxido de calcio con respecto a los diferentes medios de enfriamiento convencionales se infirió a través del análisis de varianza (ANOVA) con la ayuda del programa estadístico MiniTab versión 1917.

**Tabla 1.-Medio de enfriamiento en agua a temperatura ambiente. Temperatura de salida: 920 grados centígrados. Tiempo de enfriamiento: 15.23 segundos.**

Rockwell "E" (RB)					Rockwell "C" (RC)				
Probeta					Probeta				
Punto	Region	Normal	Dureza Kgf/Cm <sup>2</sup>	RB	Punto	Region	Normal	Dureza Kgf/Cm <sup>2</sup>	RC
1	22	104	9170	RB	1	22	85	32640	RC
2	10	112	12740	RB	2	10	78	29952	RC
3	34	104	9170	RB	3	34	80	30720	RC
4	46	113	13720	RB	4	46	79	30336	RC
5	4	112	12740	RB	5	4	78	29952	RC
6	37	114	14280	RB	6	37	83	31872	RC
7	32	116	16030	RB	7	32	81	31104	RC
8	43	118	17290	RB	8	43	79	30336	RC
PROMEDIO		111.62	105140/8=1 3142.50	RB	PROMEDIO		80.37	246912/8=3 0864	RC

**Tabla 2.- Medio de enfriamiento en salmuera. Temperatura de salida: 927 grados centígrados.  
Tiempo de enfriamiento: 18.13 segundos.**

Punto	Región	Probeta			Punto	Región	Probeta		
		Normal	Dureza KgF/Cm2	RB			Normal	Dureza ?KgF/Cm?	RC
1	43	117	16660	RB	1	43	82	31488	RC
2	25	120	19320	RB	2	25	81	31104	RC
3	30	116	16030	RB	3	30	82	31488	RC
4	21	112	12740	RB	4	21	77	29568	RC
5	7	111	12320	RB	5	7	75	28800	RC
6	44	110	11900	RB	6	44	80	30720	RC
7	14	114	14280	RB	7	14	80	30720	RC
8	11	121	19481	RB	8	11	79	30336	RC
PROMEDIO	115.12	122731/8=15341.3	RB	PROMEDIO	79.50	244227/8=30528.37	RC	30528	RC

**Tabla 3.- Medio de enfriamiento en aceite temperatura de salida: 932 grados centígrados.  
Tiempo de enfriamiento: 35.83 segundos.**

Punto	Probeta			RB	Punto	Probeta			RC
	Normal	Dureza KgF/Cm <sup>2</sup>				Normal	Dureza KgF/Cm <sup>2</sup>		
1	32	114	14280	RB	1	32	49	16660	RC
2	22	115	14840	RB	2	22	55	19320	RC
3	8	117	16660	RB	3	8	55	19320	RC
4	1	118	17290	RB	4	1	55	19320	RC
5	36	116	16030	RB	5	36	57	20090	RC
6	17	117	16660	RB	6	17	52	17920	RC
7	27	116	16030	RB	7	27	52	17920	RC
8	11	119	17920	RB	8	11	55	19320	RC
PROMEDIO	116.50	129710/8=16213.75	RB	PROMEDIO	53.75	149870/8=18733.75	RC		RC

## RESULTADOS

En base a los datos obtenidos en las probetas con cambio estructural, se realizó una comparación de medias para determinar la temperatura y tiempo de enfriamiento de cada concentración de hidróxido de calcio.

De acuerdo a las medias obtenidas se eligió la de menor valor, ya que para la dureza en Rockwell C es la de mayor oposición a ser rayadas o penetradas.

Para la concentración de hidróxido de calcio al 100%, Tabla 4, la media más significativa es 34.87 por tanto la temperatura es de 924°C con un tiempo de enfriamiento de 75.73 min. Para la concentración de hidróxido de calcio al 75% Tabla 5, la media más significativa es 49, por tanto, la temperatura es de 936°C con un tiempo de enfriamiento de 12.13 seg.

**Tabla 4.- Concentración de hidróxido de calcio al 100%**

Repeticiones	Temperatura y tiempo de enfriamiento			
	924°C/75.73 min	930°C/76.58 min	927°C/76.15 min	932°C/74.98 min
I	21	39	39	44
II	33	42	37	41
III	32	48	47	47
IV	32	39	49	34
V	43	44	32	53
VI	39	41	48	40
VII	34	51	44	54
VIII	45	37	41	46
Media:	34.87	42.62	42.12	44.88

**Tabla 5.- Concentración de hidróxido de calcio al 75%**

repeticiones	Temperatura y tiempo de enfriamiento			
	932°C/12.6 seg	936°C/13.54 seg	934°C/11.31 seg.	936°C/12.13
I	46	57	48	50
II	52	62	60	44
III	73	49	62	49
IV	54	53	52	46
V	61	52	52	50
VI	58	54	51	53
VII	59	53	55	52
VIII	55	50	67	48
Media:	57.25	53.75	55.87	49

Para la concentración de hidróxido de calcio al 50%, Tabla 6, la media más significativa es 74.62 por tanto la temperatura es de 932°C con un tiempo de enfriamiento de 13.28 seg.

Para la concentración de hidróxido de calcio al 25%, Tabla 7, la media más significativa es 76.37 por tanto la temperatura es de 926°C con un tiempo de enfriamiento de 11.48 seg.

**Tabla 6.- Concentración de hidróxido de calcio al 50%**

Repeticiones	Temperatura y tiempo de enfriamiento			
	925°C/12.13 seg	932°C/13.28 seg	930°C/13.68 seg.	922°C/13.26 seg
I	75	74	75	72
II	76	76	69	77
III	75	74	76	72
IV	75	74	78	77
V	79	73	77	74
VI	79	73	78	79
VII	74	77	74	76
VIII	79	76	77	77
Media:	76.50	74.62	75.50	75.50

**Tabla 7.- Concentración de hidróxido de calcio al 25%**

Repeticiones	Temperatura y tiempo de enfriamiento			
	926°C/11.48 seg	930°C/12.56 seg	932°C/11.98 seg.	924°C/14.22 seg
I	75	74	81	79
II	76	76	79	80
III	79	78	76	77
IV	77	74	77	79
V	75	79	80	78
VI	75	80	80	73
VII	76	78	81	74
VIII	78	81	80	78
Media:	76.37	77.50	79.25	77.25

Con las pruebas seleccionadas se realizó un análisis múltiple de medias a través de un ANOVA y determinar la relación de las medias de cada porcentaje de hidróxido de calcio (cal alimenticia).

**Tabla 8.- Concentración de hidróxido de calcio**

	Porcentajes de concentración de hidróxido de calcio			
	100%	75%	50%	25%
I	21	50	74	75
II	33	44	76	76
III	32	49	74	79
IV	32	46	74	77
V	43	50	73	75
VI	39	53	73	75
VII	34	52	77	76
VIII	45	48	76	78
Media	34.87	49	74.62	76.37

**ANOVA unidireccional: repeticiones vs. % de cal**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
% de cal	3	9821,8	3273,9	186,09	0,000
Error	28	492,6	17,6		
Total	31	10314,5			

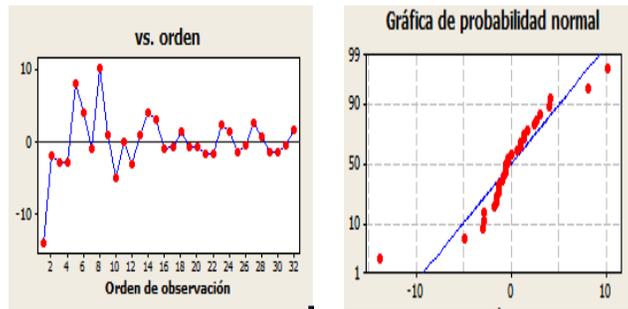
S = 4,194 R-cuad. = 95,22% R-cuad. (ajustado) = 94,71%

Nivel	N	Media	Desv. Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv. Est. agrupada
1	8	34,875	7,549	(---)
2	8	49,000	2,976	(---)
3	8	74,625	1,506	(---)
4	8	76,375	1,506	(---)

La Tabla 8 muestra como el valor de P=0.00 se encuentra entre 0.0 y 0.01. Existe una diferencia altamente significativa entre los porcentajes de hidróxido de calcio (cal alimenticia), temperatura y tiempo de enfriamiento en la dureza del acero 1045. Es decir, se obtienen distintos cambios estructurales dependiendo del cambio de concentrado de hidróxido de calcio, temperatura y tiempo de enfriamiento.

En la gráfica 1 se muestra el comportamiento de la dureza en las 4 probetas con los distintos porcentajes del hidróxido de cal:

**Gráfica 1.- Comportamiento de la dureza en las 4 probetas bajo distintos porcentajes del hidróxido de cal.**

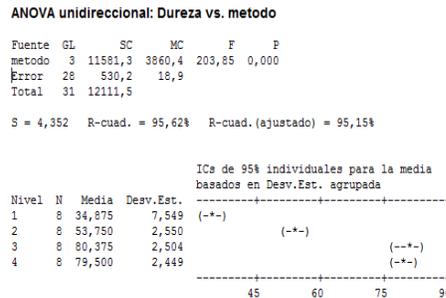


Una vez comparados los datos de las concentraciones se comparan con los resultados de los métodos de enfriamiento tradicionales y realizar el comparativo múltiple de medias a través del análisis de varianza:

Comparativo de cada concentración de hidroxido calcio con los metodos enfriamiento convencionales (aceite, agua y salmuera) en la dureza rockwell RC de un solo factor (ANOVA):

**Tabla 9.- Concentración de hidróxido de calcio 100% con análisis de varianza ANOVA.**

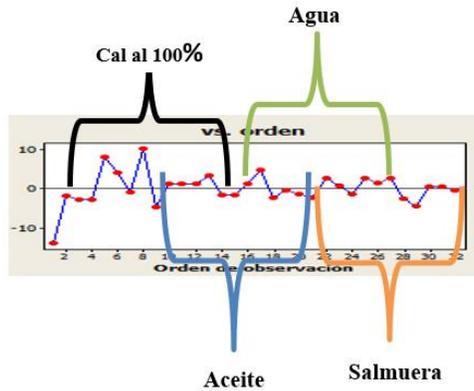
	CAL AL 100%	ACEITE	AGUA	SALMUERA
I	21	49	85	82
II	33	55	78	81
III	32	55	80	82
IV	32	55	79	77
V	43	57	78	75
VI	39	52	83	80
VII	34	52	81	80
VIII	45	55	79	79
Media	34.87	53.75	80.37	79.55



En la Tabla 9 se observa el resultado en el valor de significancia  $P=0.00$  que se encuentra entre 0.00 y 0.01, Tabla 9, muestra que existe una diferencia altamente significativa entre las medias. Es decir, los métodos tradicionales y el 100% de concentrado de hidróxido de calcio son diferentes, lo cual permite observar con cada método de temple se obtiene una dureza distinta.

Se representan en la gráfica 2, los comportamientos de dureza de cada tratamiento comparado:

**Gráfica 2.- Comparación de la dureza**



**Tabla 10.- Concentración de hidróxido de calcio 75% con análisis de varianza ANOVA**

	CAL AL 75%	ACEITE	AGUA	SALMUERA
I	50	49	85	82
II	44	55	78	81
III	49	55	80	82
IV	46	55	79	77
V	50	57	78	75
VI	53	52	83	80
VII	52	52	81	80
VIII	48	55	79	79
Media:	49	53.75	80.37	79.50

**ANOVA unidireccional: dureza vs. metodo**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Metodo	3	6619,84	2206,61	319,51	0,000
Error	28	193,38	6,91		
Total	31	6813,22			

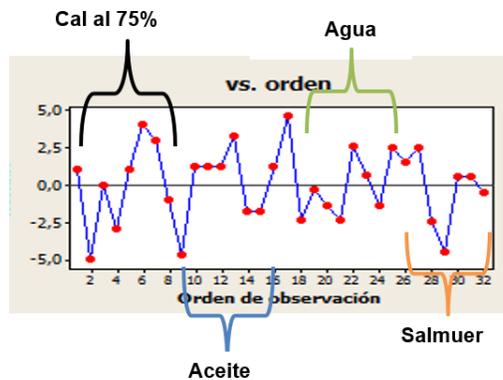
S = 2,628 R-cuad. = 97,16% R-cuad. (ajustado) = 96,86%

Nivel	N	Media	Desv.Est.	ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. agrupada
1	8	49,000	2,976	(--)
2	8	53,750	2,550	(--)
3	8	80,375	2,504	(--)
4	8	79,500	2,449	(--)

El resultado del valor de  $P=0.00$  está entre 0.00 y 0.01, Tabla 9, existe una diferencia altamente significativa entre las medias. Es decir, los métodos tradicionales y el 75% de concentrado de hidróxido de calcio son diferentes, ya que se obtienen distintos cambios de dureza en los 4 tratamientos.

Se representan en la gráfica 3 los comportamientos de dureza de cada tratamiento comparado:

**Gráfica 3.- Comportamiento de dureza de cada tratamiento comparado**



**Tabla 11.- Concentración de hidróxido de calcio 50% con análisis de varianza ANOVA**

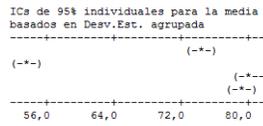
	CAL AL 50%	ACEITE	AGUA	SALMUERA
I	74	49	85	82
II	76	55	78	81
III	74	55	80	82
IV	74	55	79	77
V	73	57	78	75
VI	73	52	83	80
VII	77	52	81	80
VIII	76	55	79	79
Media:	74.62	53.75	80.37	79.50

**ANOVA unidireccional: dureza vs. metodo**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
metodo	3	3730,62	1243,54	236,46	0,000
Error	28	147,25	5,26		
Total	31	3877,87			

S = 2,293 R-cuad. = 96,20% R-cuad. (ajustado) = 95,80%

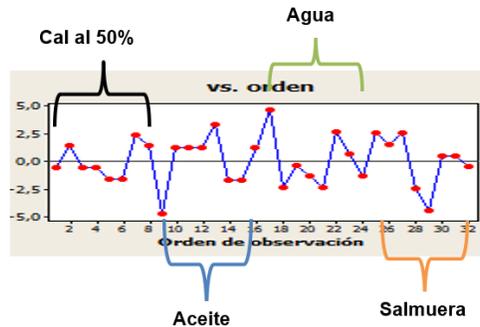
Nivel	N	Media	Desv.Est.
1	8	74,625	1,506
2	8	53,750	2,550
3	8	80,375	2,504
4	8	79,500	2,449



El cálculo demostró ver Tabla 11, que el nivel de significancia  $P=0.00$  esta entre 0.00 y 0.001 existe una diferencia altamente significativa entre las medias: es decir, los métodos tradicionales (aceite, agua y salmuera) y el 50% de concentrado de hidróxido de calcio son diferentes, lo que conlleva a tener distinto comportamiento de dureza entre los métodos tradicionales.

Se representa en la gráfica 4 los comportamientos de dureza de cada tratamiento comparado:

**Gráfica 4.- Comportamientos de dureza en los tratamientos comparados.**



**Tabla 12.- Concentración de hidróxido de calcio 25% con análisis de varianza ANOVA**

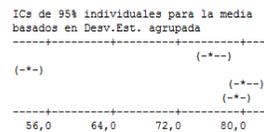
	CAL AL 25%	ACEITE	AGUA	SALMUERA
I	75	49	85	82
II	76	55	78	81
III	79	55	80	82
IV	77	55	79	77
V	75	57	78	75
VI	75	52	83	80
VII	76	52	81	80
VIII	78	55	79	79
Media:	76.37	53.75	80.37	79.50

**ANOVA unidireccional: dureza vs. metodo**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
metodo	3	3820,75	1273,58	242,18	0,000
Error	28	147,25	5,26		
Total	31	3968,00			

S = 2,293 R-cuad. = 96,29% R-cuad. (ajustado) = 95,89%

Nivel	N	Media	Desv.Est.
1	8	76,375	1,506
2	8	53,750	2,550
3	8	80,375	2,504
4	8	79,500	2,449

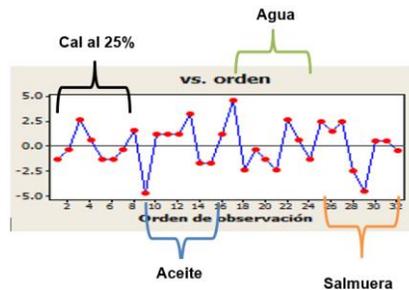


La Tabla 12 demuestra el resultado del nivel de significancia con valor de  $P=0.00$  está entre 0.00 y 0.001 existe una diferencia altamente significativa entre las medias: es decir, la dureza

de los métodos tradicionales (agua, aceite y salmuera) y el 25% de concentrado de hidróxido de calcio, tienen diferente cambio estructural en la dureza.

Se representan en la gráfica 5 los comportamientos de dureza de cada tratamiento comparado:

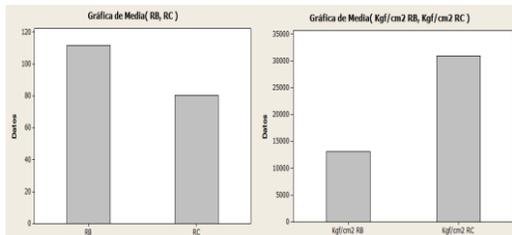
**Gráfica 5.- Comportamientos de dureza de cada tratamiento.**



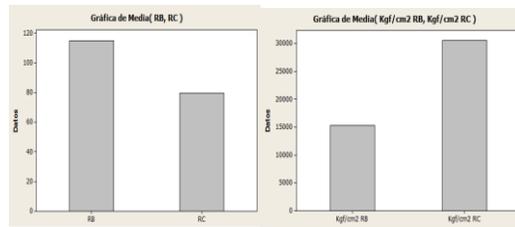
En la gráfica 6 se hace la comparación de dureza en RB (Normal) y RC con cambio estructural por el método de Agua a una temperatura de 920°C con un tiempo de enfriamiento de 15.23 segundos, mismas lecturas que se convirtieron a  $Kgf/cm^2$  dando como resultado cambio estructural de dureza.

En la gráfica 7 se hace la comparación de dureza en RB (Normal) y RC con cambio estructural por el método de Salmuera a una temperatura de 927°C con un tiempo de enfriamiento de 18.13 segundos, mismas lecturas que se convirtieron a  $Kgf/Cm^2$  dando como resultado un cambio estructural de dureza.

**Gráfica 6.- Comparación de durezas métodos tradicionales. Agua**



**Gráfica 7. Comparación de durezas con métodos tradicionales. Salmuera**



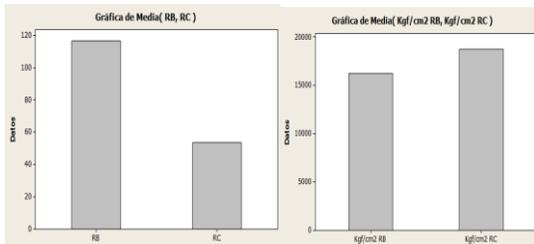
En la gráfica 8 se hace la comparación de dureza en RB (Normal) y RC con cambio estructural por el método de Aceite a una temperatura de 932°C con un tiempo de enfriamiento de 35.83 segundos, mismas lecturas que se convirtieron a  $Kgf/Cm^2$  dando como resultado un cambio estructural de dureza.

Comparacion de dureza Normal en Rockwell B Y Rockwell C Y Representacion grafica de la conversion RB y RC a  $Kgf/Cm^2$ .

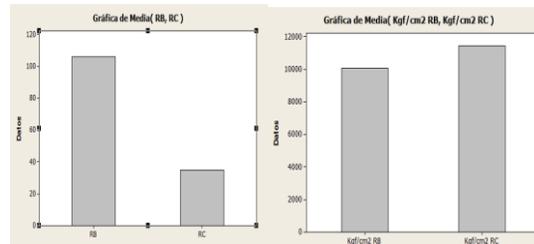
En la gráfica 9 se comparó la dureza en Rockwell B (normal) y Rockwell C con cambio estructural sometida a una temperatura de 924°C con un tiempo de enfriamiento de 75.73

minutos al 100% de calcio, las mismas lecturas que se convirtieron a  $Kgf/Cm^2$  dando como resultado un cambio estructural de dureza. Este es el único tratamiento que la velocidad de enfriamiento es lenta debido a que no existe agua en la mezcla, ya que, literalmente se “sumergieron” las probetas de acero 1045 en polvo de hidróxido de calcio.

**Gráfica 8.- Comparación de durezas con métodos tradicionales. Aceite**



**Gráfica 9.- Comparación de la dureza en Rockwell B (normal) y Rockwell C**

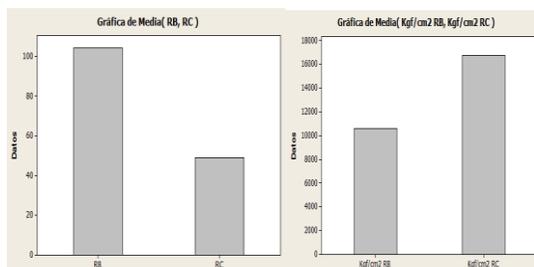


En la gráfica 10 se comparó la dureza en Rockwell B (normal) y Rockwell C con cambio estructural sometida a una temperatura de  $936^{\circ}C$  con un tiempo de enfriamiento 11.31 segundos al 75% de calcio, mismas lecturas que se convirtieron a  $Kgf/Cm^2$  dando como resultado un cambio estructural de dureza.

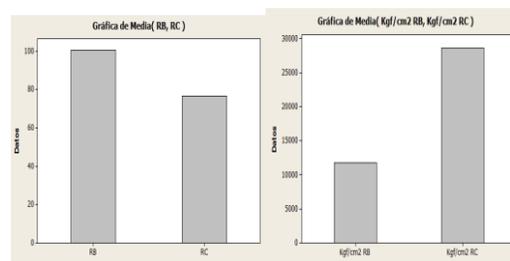
Nota: A partir de este tratamiento la velocidad de enfriamiento se aceleran por el contenido de agua en las mezclas.

En la gráfica 11 se comparó la dureza en Rockwell B (normal) y Rockwell C con cambio estructural sometida a una temperatura de  $932^{\circ}C$  con un tiempo de enfriamiento de 13.28 segundos al 50% de calcio, las mismas lecturas que se convirtieron a  $Kgf/Cm^2$  dando como resultado un cambio estructural de dureza.

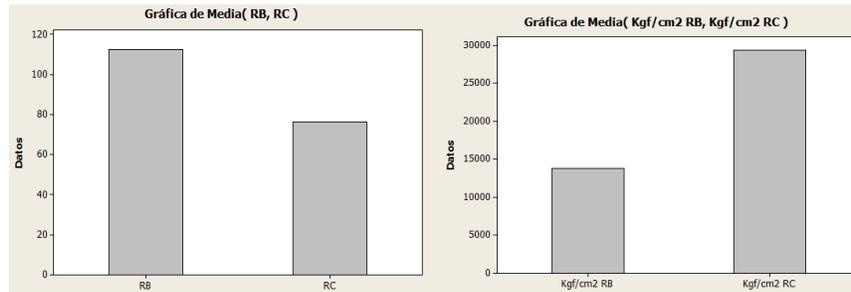
**Gráfica 10.- Comparación de dureza en Rockwell B (normal) y Rockwell C.**



**Gráfica 11.- Comparación de dureza en Rockwell B (normal) y Rockwell C**



En la gráfica 12, se comparó la dureza en Rockwell B (normal) y Rockwell C con cambio estructural sometida a una temperatura de  $926^{\circ}C$  con un tiempo de enfriamiento de 11.48 segundos al 25% de calcio, las mismas lecturas que se convirtieron a  $Kgf/Cm^2$  dando como resultado un cambio estructural de dureza.

**Gráfica 12.- Comparación de dureza en Rockwell B (normal y Rockwell C.**

## CONCLUSIONES

De acuerdo las gráficas del comparativo de las probetas de acero 10 45 con los diferentes métodos de enfriamiento se observa que existe una diferencia de dureza en los métodos de enfriamiento tradicionales (agua, aceite y salmuera) y los concentrados de hidróxido de calcio. Existe un cambio estructural en cada concentración de hidróxido de calcio, en un 100% de concentrado se observa un alcance de dureza de  $11445 \text{ Kgf}/\text{Cm}^2$  en promedio, para el 75%  $16765 \text{ Kgf}/\text{Cm}^2$ , en 50%  $28656 \text{ Kgf}/\text{Cm}^2$  y el 25% de concentrado de calcio se observa una dureza promedio de  $29328 \text{ Kgf}/\text{Cm}^2$ , lo que confirma que el hidróxido de calcio se puede emplear como método de enfriamiento. Por tanto, conlleva a la apertura de evaluar si el desecho orgánico del nixtamalizado (nejayote) es factible su uso en tratamientos térmicos.

De ser así, sería importante para la contribución del medio ambiente, ya que en la reutilización del desecho nixtamalizado estaría creando una técnica de temple socialmente responsable donde traería beneficios tanto para el ambiente, como para el usuario que adopte este método de enfriamiento.

Y se recomienda hacer un estadístico inferencial que pueda decidir el concentrado de calcio, temperatura y tiempo de enfriamiento más adecuado.

Realizar una mayor cantidad de pruebas con otros aceros comerciales y conocer el efecto del hidróxido de calcio en su cambio estructural.

Diseñar y fabricar el prototipo de la prueba Jominy para medir el resultado del hidróxido de calcio en la profundidad de diferentes tipos de acero comerciales y conocer el comportamiento del cambio estructural. Efectuar estudios intermedios entre los porcentajes entre 25% 50% y 75% aumentar el número probetas de acero y obtener mayor cantidad de datos que confirmen la utilidad del hidróxido de calcio como medio de enfriamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Askeland, D. R. (2016) Ciencia e ingeniería de los materiales. México: Cengage learning  
González Viñas, W. (2003) Ciencia de los materiales. España: Ariel  
Griffith, G. K. (1997) Técnico de control de Calidad. New Jersey: Simon & Schuster  
Juárez, P. (27 de 01 del 2020). [www.milenio.com](http://www.milenio.com) Obtenido de [milenio.com](http://milenio.com).

<https://milenio.com/negocios/producción/acero-mundial-crecio-3-4-2019>)

- Kalpakjian, S. (2018) *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson
- López-Maldonado, E. A. (2017) Integral use of nejayote: characterization, new strategies for physicochemical treatment and recovery of valuable by products. In *TecnOpen. Physicochemical wastewater treatment and resources recovery*. Croatia: SPI global
- Morrall, F.R. (1982) *Metalurgia general*. Tomo 1. España: Reverté
- Newell, J. (2010) *Ciencia de materiales: aplicaciones en ingeniería*. México: Alfaomega
- Smith, W. (2006) *Fundamentos de ciencia e ingeniería de los materiales*. México: Mc Graw Hill
- Sydney, H. A. (1988) *Introducción a la metalurgia Física*. México: Mc Graw Hill