

TUKEY Y DUNCAN

CONVENTIONAL AND CALCIUM HYDROXIDE $\text{Ca}(\text{OH})_2$ COOLING: TUKEY AND DUNCAN MULTIPLE COMPARISON METHODS.

Recibido: 13 de septiembre del 2021.
Aceptado: 07 de diciembre de 2021

E. Lugo Cornejo¹
M. G. Guerrero Porras^{2*}
D. A. Rangel Reséndiz³

RESUMEN

El acero en la vida cotidiana es de gran importancia, en los últimos años la tendencia con respecto al procesamiento del material en sus múltiples aplicaciones, han generado medidas más respetuosas con el medio ambiente.

El acero ofrece un gran potencial en aplicaciones por sus propiedades mecánicas, su alta relación resistencia/peso y propiedades de elongación. Este estudio tuvo como fin comprender la inferencia del hidróxido de calcio como medio de enfriamiento en el proceso de temple, comparándolo con aquellos tradicionales, e interpretarlo mediante los métodos de Tukey y Duncan, fueron necesarias 72 probetas que pasaron por los procesos de corte, lijado y pulido calidad espejo, a 36 se les aplicó un tratamiento térmico y se llevaron a una temperatura de austenización por un promedio de 1.30 horas, después de esto se sometieron a un enfriamiento rápido en distintas concentraciones de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, lo que determinó los cambios estructurales midiendo las durezas.

Se obtuvieron las durezas de los cambios estructurales y con los gráficos estadísticos se observa su resistencia a la penetración en kgf/cm^2 y mediante los métodos de comparación múltiple Tukey y Duncan, se infiere el comportamiento de la cal en la dureza de las muestras, para plantear la posibilidad de utilizar el desecho industrial del proceso de nixtamalización de la industria de la masa y la tortilla “nejayote” como alternativa para medio de enfriamiento.

PALABRAS CLAVE: Aceros, propiedades mecánicas, hidróxido de calcio, métodos Tukey y Duncan,

ABSTRACT

Steel in everyday life is of great importance, in recent years the trend regarding the processing of the material in its multiple applications, have generated more environmentally friendly measures.

Steel offers great potential in applications due to its mechanical properties, its high strength-to-weight ratio, and elongation properties. The purpose of this study was to understand the inference of calcium hydroxide as a cooling medium in the tempering process, comparing it with traditional ones, and to interpret it using the Tukey and Duncan methods, 72 specimens were necessary that went through the cutting, polishing processes and sanded to mirror quality, and heat treatment was applied to 36 and they were brought to a temperature of between $925^\circ - 950^\circ$ Celsius for an average of 1.30 hours, after this they were subjected to rapid cooling in different concentrations of calcium, which determined the structural changes measuring hardness.

The hardnesses of the structural changes were obtained and with the statistical graphs its resistance to penetration in kgf / cm^2 is observed and by means of the Tukey and Duncan multiple comparison methods, the behavior of lime in the hardness of the samples is inferred, for propose the possibility of using the industrial waste from the nixtamalization process of the dough industry and the “nejayote” tortilla as an alternative for cooling medium.

¹ Profesor del Tecnológico Nacional de México, Campus Ciudad Valles.

² Profesora del Tecnológico Nacional de México, Campus Ciudad Valles, guadalupe.guerrero@tecvalles.mx
(Correspondencia)

³ Estudiante Tecnológico Nacional de México, Campus Ciudad Valles, matrícula 15690126

KEY WORDS: Steels, mechanical properties, calcium hydroxide, Tukey and Duncan methods.

INTRODUCCIÓN

La dureza se define como aquella propiedad de la capa superficial del material de resistir toda deformación elástica, plástica o destrucción debido a la acción de esfuerzos de contacto locales originados por otro cuerpo más duro, llamado indentador o penetrador de determinada forma y dimensiones, el cual no sufre deformaciones residuales durante el contacto.

Los materiales pueden resistir la penetración de un indentador sometido bajo carga. La dureza, por definición, es una propiedad de la capa superficial del material, y no es una propiedad del material en sí y los métodos de dureza por indentación presuponen la presencia de esfuerzos de contacto. (Callister, 2018)

Las propiedades mecánicas resultan de aplicar fuerzas mecánicas a los materiales de estudio. Las más importantes son la resistencia, la dureza, la ductilidad y la rigidez. En general, las propiedades mecánicas son difíciles de interpretar desde el punto de vista de teorías microscópicas, como la teoría de bandas, y dependen mucho de las impurezas e imperfecciones de las muestras. Para empezar, se deben definir los esfuerzos y las deformaciones, así como la relación que hay entre ellos en cada material. La deformación que se produce en un material es la respuesta mecánica a la aplicación de fuerzas mecánicas por unidad de área denominadas esfuerzos. Los esfuerzos pueden ser de tracción o compresión, donde el esfuerzo es equivalente a una presión (positiva o negativa), o bien de cizalladura, donde se aplican dos fuerzas en la misma dirección, pero en distintos sentidos y puntos de apoyo,” o bien de torsión, donde se aplican dos pares de fuerzas en la misma dirección, pero en distintos sentidos y puntos de apoyo. (González-Viñas, 2005).

La participación del hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dentro de la industria es muy amplia, que incluso forma parte del proceso de uno de los productos derivados del maíz más importantes de México; la tortilla, para la elaboración de esta se deben cocer los granos de maíz en agua con cal, este proceso se le conoce como nixtamalización, el cual genera grandes cantidades de aguas residuales conocidas como nejayote.

De comprobarse un cambio en la estructura, se pueden realizar estudios con estos residuos, con la posibilidad de ser una alternativa en los tratamientos térmicos como medio de enfriamiento, evitando que estos sean desechados y se formen sedimentos en ríos, desagües, cañerías y drenajes públicos, y es una opción amigable con el medio ambiente y de menor costo.

METODOLOGÍA

El realizar el análisis de los medios de enfriamiento tradicionales y de las concentraciones intermedias de hidróxido de calcio mediante los métodos de comparaciones múltiples de Tukey y Duncan en los tratamientos térmicos del acero 1045 es el punto fundamental del estudio. Y aplicar métodos estadísticos para demostrar dicho proceso.

Se determinaron las concentraciones de 5% a 70%, tomando en cuenta cada 5%. Exceptuando 25 y 50%. (Lugo Cornejo, 2020).

Se prepararon las barras de acero 1045 para iniciar con el corte. Se colocó primeramente en una prensa de mesa y se ajustó para estabilizarla y evitar movimientos que puedan causar un mal corte. Se realizó el corte de probetas de 2.915 cm (las probetas son de 2.54 cm, pero se

les agrega 0.375 cm como margen para el proceso de acabado). Obteniendo la pieza, se retira la rebaba y residuos restantes con una lima. Para posteriormente se pulieron y nivelaron las piezas.

Se aplicó líquido refrigerante en antes y durante el proceso, para facilitar el maquinado y evitar que las piezas y la herramienta de pulido se dañen.

El proceso de lijado tiene la finalidad de obtener una calidad espejo en todas las probetas, por este motivo se realiza en ambas caras con una lija de agua con tamaño de grano 36, esto para borrar las marcas que dejó el proceso de fresado.

Para obtener el tamaño de muestra se tomó una malla metálica y se cortaron 36 círculos del diámetro de las probetas. Las mallas tenían una cantidad de 48, 49 o 50 agujeros, lo cual gracias a la tabla de “Códigos del tamaño según la MIL STD 150D” (ISO 2859), se determinó que el tamaño de lote entraba en el rango de 26-50, lo cual definió que el nivel general de inspección era D.

En la tabla de “planes de muestreo simple para la inspección normal” y a la letra código que arrojó la MIL STD 150D, dió que el tamaño de muestra fuera 8. Esto quiere decir que se tomaron 8 muestras de dureza en cada probeta.

Haciendo uso de Ran# en una calculadora científica y tomando en cuenta la cantidad de orificios en las piezas de malla metálica, se obtuvieron 8 números aleatorios los cuales indicaron la posición donde se tomaría la dureza.

Se le realizó el tratamiento térmico de temple a 36 probetas, se llevaron a una temperatura de austenización, pasadas 1.30 hrs. fueron sacadas de la mufla y sometidas a un enfriamiento por agitación. El tratamiento térmico fue similar para todas las piezas, la única variación fue el medio de enfriamiento.

Para la obtención de los valores de dureza Rockwell B, se utilizó un durómetro analógico mecánico. Con una carga de 100 kg e indentador de punta de bola de 1/16.

Se obtuvo la dureza de las probetas en estado alfa, a estas no se les aplicó algún tratamiento térmico y fueron utilizadas como medida de referencia. Posteriormente se colocó el indentador en la posición marcada, se aplicó la carga previa, se esperó un minuto y se liberaron los 100 kg. El mecanismo se dejó reposar 2 min. y se tomaron los datos que el durómetro arrojó. Se retiró la probeta y se dejó descansar 2 min. el durómetro, se repitió el mismo procedimiento con el resto de las piezas.

El procedimiento para obtener los valores Rockwell C es similar al proceso para obtener los datos HRB, la única diferencia es que se le coloca una carga de 150 kg y un indentador de punta en V.

Se realizaron tratamientos térmicos en los cuales se sometieron 12 piezas a temperaturas aproximadas de austenización, con el fin de que alcanzaran la temperatura de restructuración, al paso de 1.30 hrs. Se sacaron y se enfriaron aceleradamente en un recipiente con agua y su respectivo porcentaje de calcio (Ca(OH)₂).

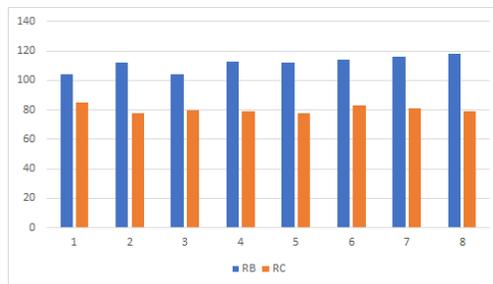
RESULTADOS

Con la información de inicio (tablas 0.1-0.3 y gráficas 0.1-0.9) se obtuvieron los datos de los medios de enfriamiento tradicionales agua, salmuera y aceite.

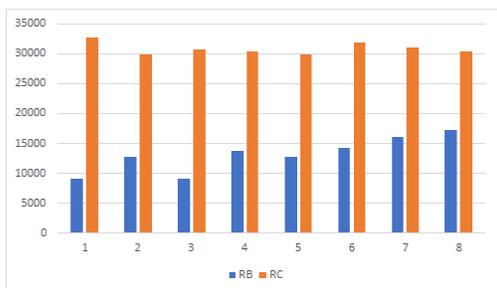
Tabla 0.1.- Dureza inicial y reestructuradas enfriadas en agua

Rockwell "B" (RB)				Rockwell "C" (RC)			
Probeta				Probeta (AGUA)			
Punto	Región	Normal (RB)	Dureza (Kg/Cm ²)	Punto	Región	Normal (RC)	Dureza (Kg/Cm ²)
1	22	104	9170	1	22	85	32640
2	10	112	12740	2	10	78	29952
3	34	104	9170	3	34	80	30720
4	46	113	13720	4	46	79	30336
5	4	112	12740	5	4	78	29952
6	37	114	14280	6	37	83	31672
7	32	116	16030	7	32	81	31104
8	43	118	17290	8	43	79	30336
PROMEDIO		112	13143	PROMEDIO		80	30864

Gráfica 0.1.- Dureza inicial (RB) y cambio estructural (RC) medio de enfriamiento agua



Gráfica 0.2.- Dureza inicial y cambio estructural en kgf/cm2 medio de enfriamiento agua



Gráfica 0.3.- Promedio dureza inicial y cambio estructural en kgf/cm2 medio de enfriamiento agua

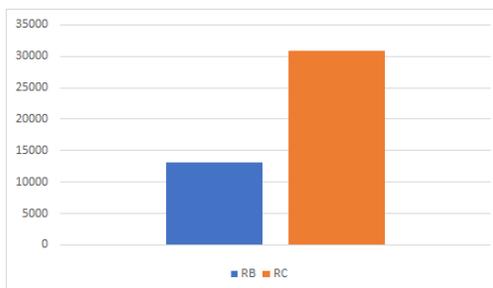
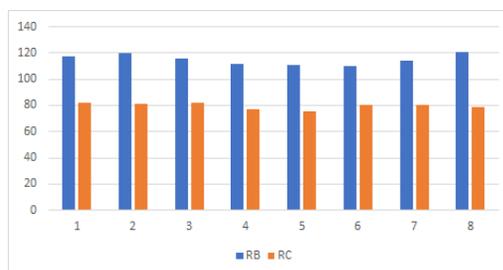


Tabla 0.2.- Dureza inicial y reestructuradas enfriadas en salmuera

Rockwell "B" (RB)				Rockwell "C" (RC)			
Probeta				Probeta (SALMUERA)			
Punto	Región	Normal (RB)	Dureza (Kg/Cm ²)	Punto	Región	Normal (RC)	Dureza (Kg/Cm ²)
1	43	117	16660	1	43	82	31488
2	25	120	19320	2	25	81	31104
3	30	116	16030	3	30	82	31488
4	21	112	12740	4	21	77	29568
5	7	111	12320	5	7	75	28800
6	44	110	11900	6	44	80	30720
7	14	114	14280	7	14	80	30720
8	11	121	19481	8	11	79	30336
PROMEDIO		115	15341	PROMEDIO		80	30528

Gráfica 0.4.- Dureza inicial (RB) y cambio estructural (RC) medio de enfriamiento salmuera



Gráfica 0.5.- Dureza inicial y cambio estructural en kgf/cm2 medio de enfriamiento salmuera

Gráfica 0.6.- Promedio dureza inicial y cambio estructural en kgf/cm2 medio de enfriamiento salmuera

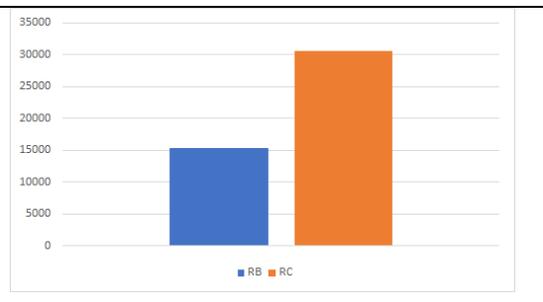
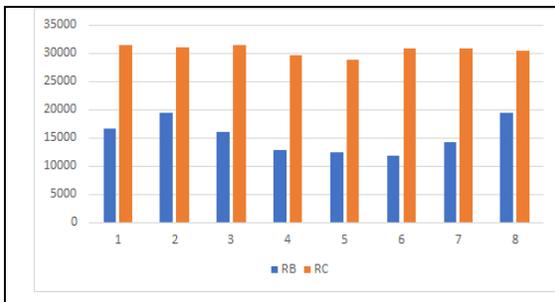
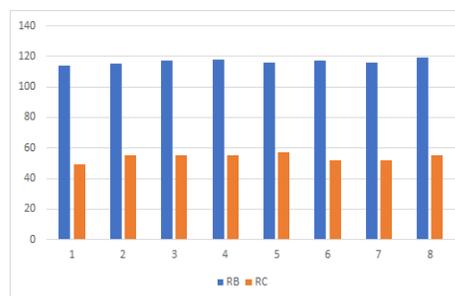


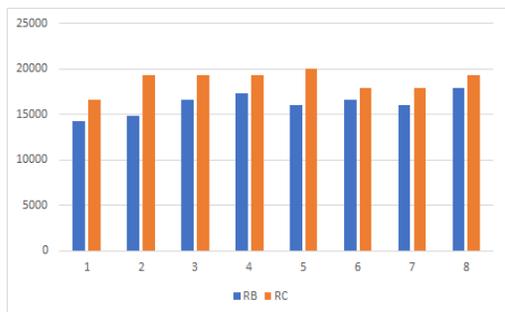
Tabla 0.3.- Dureza inicial y reestructuradas enfriadas en aceite

Rockwell "B" (RB)				Rockwell "C" (RC)			
Probeta				Probeta (ACEITE)			
Punto	Región	Normal (RB)	Dureza (Kg/Cm ²)	Punto	Región	Normal (RC)	Dureza (Kg/Cm ²)
1	32	114	14280	1	32	49	16660
2	22	115	14840	2	22	55	19320
3	8	117	16660	3	8	55	19320
4	1	118	17290	4	1	55	19320
5	36	116	16030	5	36	57	20090
6	17	117	16660	6	17	52	17920
7	27	116	16030	7	27	52	17920
8	11	119	17920	8	11	55	19320
PROMEDIO		112	16214	PROMEDIO		54	18734

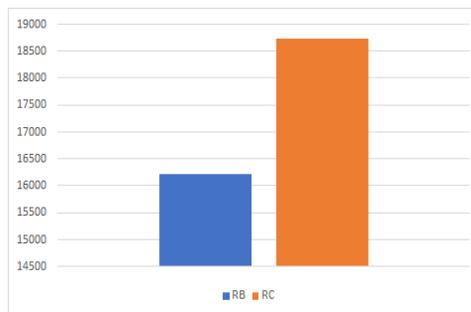
Gráfica 0.7.- Dureza inicial (RB) y cambio estructural (RC) medio de enfriamiento aceite



Gráfica 0.8.- Dureza inicial y cambio estructural en kg/cm2 medio de enfriamiento aceite



Gráfica 0.9.- Promedio dureza inicial y cambio estructural en kg/cm2 medio de enfriamiento aceite

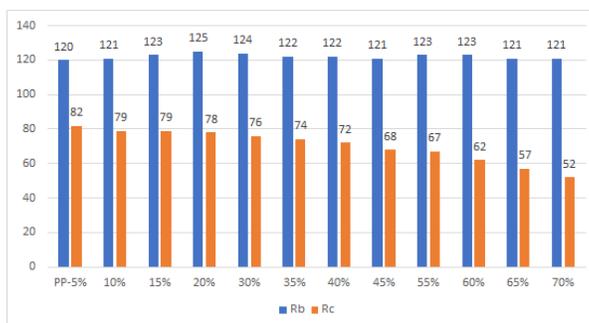


En la tabla 1 se representa el comparativo de las medias de cada porcentaje de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, mientras que la gráfica 1 es el promedio de durezas en relación al contenido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, así como la gráfica 2 representa la dureza en kg/cm^2 respecto a los porcentajes de calcio, se puede notar que el porcentaje de 5% es el promedio que arroja una mayor dureza en el cambio estructural.

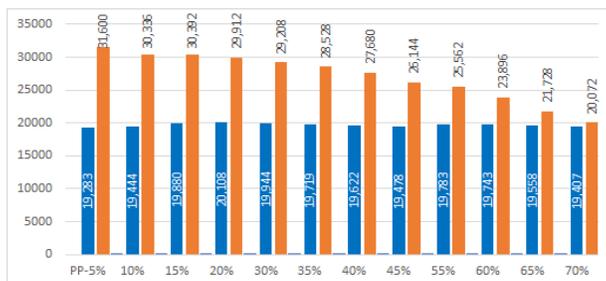
Tabla. 1- Promedio de durezas en función del porcentaje de calcio Ca(OH)₂

TOTAL	Rb	Psi	Kgf/cm ²	Rc	Psi	Kgf/cm ²
PP-5%	120	275473	19,283	82	451429	31,600
10%	121	277773	19,444	79	433371	30,336
15%	123	284002	19,880	79	434171	30,392
20%	125	287260	20,108	78	427314	29,912
30%	124	284913	19,944	76	417257	29,208
35%	122	281702	19,719	74	407543	28,528
40%	122	280313	19,622	72	395429	27,680
45%	121	278252	19,478	68	373486	26,144
55%	123	282613	19,783	67	365166	25,562
60%	123	282038	19,743	62	341371	23,896
65%	121	279402	19,558	57	310400	21,728
70%	121	277246	19,407	52	286743	20,072

Gráfica 1. Comparación del cambio estructural en probetas en función del porcentaje de calcio Ca(OH)₂



Gráfica 2. Durezas en kgf/cm² respecto al porcentaje de calcio Ca(OH)₂



Para aplicar los métodos de Tukey y Duncan, se necesitó realizar el análisis de varianza ANOVA para lo cual se consideraron las medias obtenidas de menor valor, ya que para la dureza en Rockwell C es la de mayor oposición a ser ralladas o penetradas (tabla 5).

Tabla 5.- Muestra la dureza de probetas del cambio estructural del acero 1045 enfriada con calcio tomando en cuenta la media de menor valor.

Punto	5%	10%	20%	30%	35%	40%	45%	55%	60%	65%	70%
A	80.00	79.00	78.50	75.00	72.00	71.50	67.50	65.50	61.00	54.50	51.00
B	79.50	79.00	80.00	74.50	73.50	69.50	68.50	66.00	58.00	51.50	43.50
C	79.00	78.50	77.50	71.50	75.00	69.00	68.00	66.00	59.50	56.00	58.50
D	86.50	77.00	77.00	74.00	73.00	69.00	67.50	64.50	59.50	56.00	53.50
E	79.00	76.50	78.50	74.50	74.50	70.50	70.00	65.50	61.00	57.00	36.50
F	79.50	79.50	76.00	72.50	74.00	66.50	66.50	61.50	58.50	56.00	54.50
G	77.50	76.50	75.50	74.50	75.50	73.50	71.00	68.00	60.50	55.00	36.00
H	77.00	76.50	76.00	74.00	74.50	65.00	61.00	65.50	59.00	54.00	50.00
media	79.75	77.81	77.38	73.81	74.00	69.31	67.50	65.31	59.63	55.00	47.94

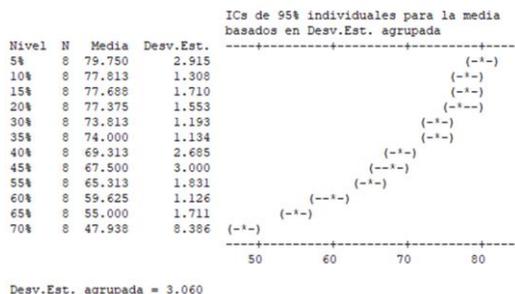
La tabla 6 muestra el análisis de varianza de un solo factor con valor P=0.00 se encuentra 0.0 y 0.01. Existe una inferencia altamente significativa entre los porcentajes de hidróxido de calcio en la dureza del acero 1045.

Tabla 6.- Análisis de varianza de un solo factor ANOVA. Fuente Minitab 2016

ANOVA unidireccional: 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 35%, 40%, 45%, 55%, 60%, 65%, 70%

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	11	9038.18	821.65	87.78	0.000
Error	84	786.31	9.36		
Total	95	9824.49			

S = 3.060 R-cuad. = 92.00% R-cuad. (ajustado) = 90.95%



En la Tabla 7 se agrupa la información utilizando el método Tukey

Tabla 7. Método Tukey. Medias que no comparten letras son significativamente diferentes.

Nivel	N	Media	Agrupación
5%	8	79.750	A
10%	8	77.813	A B
15%	8	77.688	A B
20%	8	77.375	A B
35%	8	74.000	B C
30%	8	73.813	B C
40%	8	69.313	C D
45%	8	67.500	D
55%	8	65.313	D
60%	8	59.625	E
65%	8	55.000	E
70%	8	47.938	F

Los resultados que arroja el método de Tukey nos indican cuales son las medias que son significativamente diferentes:

- a) 5%, 10% 15% y 20% se relacionan y se indica con la letra A esto nos dice que las medias son significativamente iguales.
- b) 10%, 15%, 20%, 30% y 35% se relacionan y se indica con la letra B, esto nos dice que las medias son significativamente iguales.
- c) 30%, 35% y 40% se relacionan y se indica con la letra C, esto nos dice que las medias son significativamente iguales.
- d) 40%, 45% y 55% se relacionan y se indica con la letra D, esto nos dice que las medias son significativamente iguales.
- e) 60% y 65% se relacionan y se indica con la letra E, esto nos dice que las medias son significativamente iguales.
- f) 70% se indica con la F y no se relaciona con otra media, esto quiere decir que su media es diferente a las demás.

El resultado con el análisis Duncan -ver tabla 8- a través del software IBM SPSS *Statistics* 25 es el siguiente:

Tabla 8.- Método de Duncan Fuente: IBM SPSS Statistics 25.

Duncan ^a		Valores						
Calcio	N	Subconjunto para alfa = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
12.00	8	48.0000						
11.00	8		55.0000					
10.00	8			59.6250				
9.00	8				65.3125			
8.00	8				67.5000	67.5000		
7.00	8					69.3125		
5.00	8						73.8125	
6.00	8						74.0000	
4.00	8							77.3750
3.00	8							77.6875
2.00	8							77.8125
1.00	8							79.7500
Sig.		1.000	1.000	1.000	.153	.236	.902	.159

Considerando que los valores de porcentaje calcio son representados por número y son los siguientes:

1=5%; 2=10%; 3=15%; 4=20%; 5=30%; 6=35%; 7=40%; 8=45%; 9=55%; 10=60%; 11=65% y 12=70%.

Y los resultados que arroja el método de Duncan nos indican cuales son las medias que son significativamente iguales:

- (a) 5%, 10%, 15% y 20% se relacionan en la misma columna, esto quiere decir que son significativamente iguales.
- (b) 30% y 35% se relacionan en la misma columna, esto quiere decir que son significativamente iguales.
- (c) 40% y 45% se relacionan en la misma columna, esto quiere decir que son significativamente iguales.

(d) 45% y 55% se relacionan en la misma columna, esto quiere decir que son significativamente iguales.

(e) 60%, 65% y 70% no se relacionan con ninguna otra columna, esto quiere decir que son diferentes a las otras medias.

Con la información recopilada se realizó una comparación de medias de dureza Rc en las cuales se analizaron los datos obtenidos de la cantidad de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 y los métodos de enfriamiento tradicionales, y estos fueron los resultados:

Tabla 9.- porcentaje de concentraciones de calcio Ca(OH)_2 para el comparativo Tukey respecto a los medios de enfriamiento tradicionales

Punto	PORCENTAJES DE CONCENTRACIÓN DE CALCIO CON MAYOR CANTIDAD DE DUREZA											MEDIOS ENFRIAMIENTO TRADICIONALES RC		
	5%	10%	20%	30%	35%	40%	45%	55%	60%	65%	70%	ACEITE	AGUA	SALMUERA
A	80.00	79.00	78.50	75.00	72.00	71.50	67.50	65.50	61.00	54.50	51.00	49	85	82
B	79.50	79.00	80.00	74.50	73.50	69.50	68.50	66.00	58.00	51.50	43.50	55	78	81
C	79.00	78.50	77.50	71.50	75.00	69.00	68.00	66.00	59.50	56.00	58.50	55	80	82
D	86.50	77.00	77.00	74.00	73.00	69.00	67.50	64.50	59.50	56.00	53.50	55	79	77
E	79.00	76.50	78.50	74.50	74.50	70.50	70.00	65.50	61.00	57.00	36.50	57	78	75
F	79.50	79.50	76.00	72.50	74.00	66.50	66.50	61.50	58.50	56.00	54.50	52	83	80
G	77.50	76.50	75.50	74.50	75.50	73.50	71.00	68.00	60.50	55.00	36.00	52	81	80
H	77.00	76.50	76.00	74.00	74.50	65.00	61.00	65.50	59.00	54.00	50.00	55	79	79
media	79.75	77.81	77.38	73.81	74.00	69.31	67.50	65.31	59.63	55.00	47.94	54	80	80

Al realizar el análisis de varianza de un solo factor ANOVA métodos tradicionales contra los porcentajes de hidróxido de calcio al 5, 10, 15, 20, 30, 35, 40, 45, 55, 60, 65, 70 % en todos los casos los valores de $P=0.00$ están entre 0.00 y 0.01, por tanto, existe una inferencia altamente significativa entre las medias. Es decir, los métodos tradicionales y los diferentes concentrados de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 contribuye al cambio estructural del acero 1045.

Con el análisis ANOVA en los doce tratamientos percentiles de calcio Ca(OH)_2 , el análisis del método de Tukey muestra lo siguiente:

Método de Tukey 5, 10, 15, 20% Hidróxido De Calcio Vs Tratamientos Tradicionales.

<p>El método de Tukey muestra que las medias del 5, 10, 15, 20% de hidróxido de calcio y los medios de enfriamiento tradicionales salmuera y agua son significativamente iguales. En cambio, la media del aceite es diferente.</p>	<p>Agrupar información utilizando el método de Tukey</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C3</td> <td>80.375</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>79.750</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>79.500</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>53.750</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table> <p>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</p>	N	Media	Agrupación	C3	80.375	A	C1	79.750	A	C4	79.500	A	C2	53.750	B
	N	Media	Agrupación													
C3	80.375	A														
C1	79.750	A														
C4	79.500	A														
C2	53.750	B														
<p>Agrupar información utilizando el método de Tukey</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C3</td> <td>80.375</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>79.500</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>77.688</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>53.750</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table> <p>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</p>	N	Media	Agrupación	C3	80.375	A	C4	79.500	A	C1	77.688	A	C2	53.750	B	
N	Media	Agrupación														
C3	80.375	A														
C4	79.500	A														
C1	77.688	A														
C2	53.750	B														

	<p>Agrupar información utilizando el método de Tukey</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C3</td> <td>80.375</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>79.500</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>77.813</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>53.750</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px;">10% de Ca(OH)₂</p> <p>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</p>	N	Media	Agrupación	C3	80.375	A	C4	79.500	A	C1	77.813	A	C2	53.750	B
N	Media	Agrupación														
C3	80.375	A														
C4	79.500	A														
C1	77.813	A														
C2	53.750	B														
<p>Método de Tukey 30, 35, 40, 45, 55, 60% Hidróxido De Calcio Vs Tratamientos Tradicionales</p>																
<p>El método de Tukey muestra que las medias de los medios de enfriamiento salmuera y agua son significativamente iguales. En cambio, las medias del medio de enfriamiento tradicional aceite y del 30, 35, 40, 45, 55, 60% de hidróxido de calcio son significativamente diferentes, perteneciendo estos últimos al grupo B y C respectivamente.</p>	<p>Agrupar información utilizando el método de Tukey</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C3</td> <td>80.375</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>79.500</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>73.813</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>53.750</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px;">30% de Ca(OH)₂</p> <p>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</p>	N	Media	Agrupación	C3	80.375	A	C4	79.500	A	C1	73.813	B	C2	53.750	C
	N	Media	Agrupación													
	C3	80.375	A													
	C4	79.500	A													
	C1	73.813	B													
C2	53.750	C														
<p>Agrupar información utilizando el método de Tukey</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C3</td> <td>80.375</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>79.500</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>74.000</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>53.750</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px;">35% de Ca(OH)₂</p> <p>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</p>	N	Media	Agrupación	C3	80.375	A	C4	79.500	A	C1	74.000	B	C2	53.750	C	
N	Media	Agrupación														
C3	80.375	A														
C4	79.500	A														
C1	74.000	B														
C2	53.750	C														
<p>Agrupar información utilizando el método de Tukey</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C3</td> <td>80.375</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>79.500</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>69.313</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>53.750</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px;">40% de Ca(OH)₂</p> <p>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</p>	N	Media	Agrupación	C3	80.375	A	C4	79.500	A	C1	69.313	B	C2	53.750	C	
N	Media	Agrupación														
C3	80.375	A														
C4	79.500	A														
C1	69.313	B														
C2	53.750	C														
<p>Agrupar información utilizando el método de Tukey</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C3</td> <td>80.375</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>79.500</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>67.625</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>53.750</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px;">45% de Ca(OH)₂</p> <p>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</p>	N	Media	Agrupación	C3	80.375	A	C4	79.500	A	C1	67.625	B	C2	53.750	C	
N	Media	Agrupación														
C3	80.375	A														
C4	79.500	A														
C1	67.625	B														
C2	53.750	C														
<p>Agrupar información utilizando el método de Tukey</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C3</td> <td>80.375</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>79.500</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>65.313</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>53.750</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right; border: 1px solid black; padding: 2px;">55% de Ca(OH)₂</p> <p>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</p>	N	Media	Agrupación	C3	80.375	A	C4	79.500	A	C1	65.313	B	C2	53.750	C	
N	Media	Agrupación														
C3	80.375	A														
C4	79.500	A														
C1	65.313	B														
C2	53.750	C														

	<p>Agrupar información utilizando el método de Tukey</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C3</td> <td>80.375</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>79.500</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>59.625</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>53.750</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table> <p>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</p>	N	Media	Agrupación	C3	80.375	A	C4	79.500	A	C1	59.625	B	C2	53.750	C	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">60% de Ca(OH)₂</div>
N	Media	Agrupación															
C3	80.375	A															
C4	79.500	A															
C1	59.625	B															
C2	53.750	C															
Método de Tukey 65, 70% Hidróxido De Calcio Vs Tratamientos Tradicionales																	
<p>El método de Tukey muestra que las medias de los medios de enfriamiento tradicionales salmuera y agua son significativamente iguales. En cambio, la media del medio tradicional aceite y del 65, 70% de hidróxido de calcio son significativamente iguales, identificados con la letra B.</p>	<p>Agrupar información utilizando el método de Tukey</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C3</td> <td>80.375</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>79.500</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>55.000</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>53.750</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table> <p>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</p>	N	Media	Agrupación	C3	80.375	A	C4	79.500	A	C1	55.000	B	C2	53.750	B	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">65% de</div>
	N	Media	Agrupación														
	C3	80.375	A														
C4	79.500	A															
C1	55.000	B															
C2	53.750	B															
<p>Agrupar información utilizando el método de Tukey</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Media</th> <th>Agrupación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C3</td> <td>80.375</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C4</td> <td>79.500</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>53.750</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>47.938</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table> <p>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</p>	N	Media	Agrupación	C3	80.375	A	C4	79.500	A	C2	53.750	B	C1	47.938	B	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">70% de Ca(OH)₂</div>	
N	Media	Agrupación															
C3	80.375	A															
C4	79.500	A															
C2	53.750	B															
C1	47.938	B															

CONCLUSIONES

De acuerdo a la información recopilada, el cambio estructural se presenta en las probetas del acero 1045, después del análisis de varianza y de los métodos de Tukey y Duncan, se observó que las concentraciones de hidróxido de calcio Ca(OH)₂ como medio de enfriamiento tienen una inferencia significativa en la dureza del acero 1045.

Existe un cambio estructural por cada concentración de hidróxido de calcio Ca(OH)₂, en un 5% se manifestó una dureza en promedio de 31600 Kgf/cm², en un 10% la dureza en promedio fue de 30336 Kgf/cm², en un 15% fue en promedio de 30392 Kgf/cm², en un 20% un promedio de 29912 Kgf/cm², en un 30% fue un promedio de 29208 Kgf/cm², en un 35% de 28528 Kgf/cm², en un 40% de 27680 Kgf/cm², en un 45% de 26144 Kgf/cm², en un 55% de 25562 Kgf/cm², en un 60% de 23896 Kgf/cm², en un 65% la dureza fue de 21728 Kgf/cm² y en un 70% en promedio de 20072 Kgf/cm², lo que confirma que el calcio en distintas concentraciones utilizado como medio de enfriamiento influye de manera significativa en la dureza del acero 1045.

El nivel de significancia en las concentraciones al 5, 10, 15, 20, 30, 35, 40, 45, 55, 60, 65, 70% es P=0.00, lo que nos dice que el hidróxido de calcio Ca(OH)₂ influye en el cambio estructural del acero 1045.

Cabe resaltar que la comparación de medias en los métodos de Tukey y Duncan, se observa que, entre menores son las concentraciones de calcio, mayor es la uniformidad en el promedio de durezas, mientras que, al aumentar el porcentaje de hidróxido de calcio, esta uniformidad se altera.

Esto abre la posibilidad de medir la cantidad de nejayote desechado como alternativa de un medio de enfriamiento.

Por lo que se recomienda realizar un prototipo para la Prueba Jominy con diferentes concentraciones de hidróxido de calcio para conocer la profundidad de dureza.

Realizar estudios en otros aceros comerciales y medir las concentraciones de calcio que se ocupan en el proceso de nixtamalizado en la industria de la masa y la tortilla de la zona.

Continuar con el estudio del efecto del hidróxido de calcio en la microestructura del acero y elaborar un prototipo para el proceso de acabado de las probetas.

BIBLIOGRAFÍA

- Cabrero Armijo, J. (2012). Proceso de mecanización por arranque de viruta: mecanizado por arranque de viruta. Málaga : España: IC Editorial.
- Callister, W. (2018). Ciencia e Ingeniería de los materiales. España: Reverté.
- De Garmo, J. (1989). Materiales y procesos de fabricación. España: Reverté.
- Fink, D., & Carroll, J. (1981). Manual práctico de electricidad para ingenieros, tomo I. Barcelona : Reverté.
- González-Viñas, W. (2005). Ciencia de los materiales. España: Editorial Ariel.
- Hernández Ripalda, M. (2019). Estadística inferencial 2: aplicaciones para ingeniería. México : Patria.
- Kalpakjian, S. (2014). Manufactura: ingeniería y tecnología. México : Pearson Education.
- Kuehl, R. (2001). Diseños de experimentos : principios estadísticos de experimentos y análisis de investigación . México: Thomson Learning.
- Lara Loredó, T. R. (2020). Evaluación del efecto del calcio sobre la dureza del acero 1045, en el laboratorio de metrología del Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. Ciudad Valles, México: T.L.L.
- Lugo Cornejo, E. (2020). Evaluación del efecto del calcio sobre la dureza del acero 1045. Tectzapic : Revista académico científica, 35-46.
- Miravete, A. (2000). Materiales compuestos. Zaragoza: Miravete.
- Molera Solá, P. (1991). Tratamientos térmicos de los metales. España: Marcombo.
- Moore, H. (2002). Materiales y procesos de fabricación, industria metalmecánica y de plásticos. México: Limusa.
- Morrall, F. (1982). Metalurgia general tomo 1. Barcelona: Reverté.
- Neely, J. (1992). Materiales y procesos de manufactura. México: Limusa.
- Orlicky, J. (2011). Material requirements planning: the new way of life in production and inventory management. New York: Mc Graw Hill.

Parker-Pope, T. (2020). Cual es el mejor material para el cubrebocas. New York Times, www.nytimes.com/es/.

Pero-Sanz Elorz, J. A. (1988). Materiales metálicos: solidificación, diagramas, transformaciones. Espaa: Dossat.

Pero-Sanz Elorz, J. A. (1988). Materiales para ingeniería : fundiciones férreas. España: Dossat.