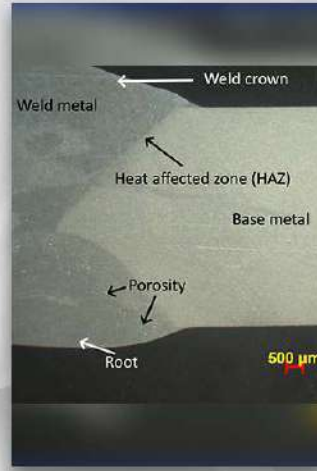
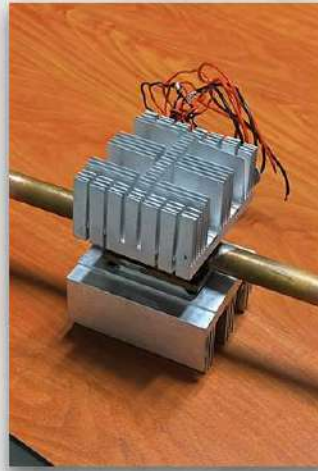


**RIIT Científica
Bimestre Mayo-Junio
2024**



Protocolo para la micropropagación de la uva variedad “Cabernet Franc”: Resultados preliminares

Magaña-González, M., Pérez-Álvarez, S., Escobedo-Bonilla, C.M., Sánchez-Chávez, E.,
Rascón-Solano, J., Hernández-Campos, R., Magallanes-Tapia, M.A.

Diseño e implementación de un dispositivo háptico tipo pantalla térmica para aplicaciones de realidad virtual con fines educativos y de entrenamiento

Serrano-Pérez, E., Soberanes-Martín, A., Castro-San Agustín, J.R., Ávila-Aoki, M.

GTAW Butt Welded 6061-T6 Aluminum: Post-process Heat Treatment Effect on Mechanical and Microstructural Features

Salgado-López, J.M., Cruz-González, C.E., Tello-Rico, M., León-Méndez, I., Guzmán-Flores,
I., Granda-Gutiérrez, E.E.

Análisis del estrés laboral de los empleados en las empresas manufactureras de Zona Fronteriza en Reynosa Tamaulipas

Morales-Rodríguez, M.A., Cervantes-Zubirías, G., Díaz-Martínez, M.A.,
Alva-Rocha, L.A., Morales-Rodríguez, J.A.

Cintillo Legal

RIIT REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA, Vol. 12, No. 68. Mayo - Junio 2024, es una publicación bimestral editada y publicada por **Universidad Autónoma de Coahuila**, boulevard Venustiano Carranza s/n colonia República Oriente, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, Tel. (844) 414 85 82, <https://riit.com.mx/>, correo electrónico: publicacionesriit@uadec.edu.mx. Editor responsable: **Dra. Antonia Mtz.** Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-021512364600-102, ISSN: 2007-9753, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Departamento de Divulgación y Comunicación Digital de la Dirección de Investigación y Posgrado de la UAdeC, Q.F.B. **Fernando García**, Edificio “D” planta alta, unidad Camporredondo, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, Tel. (844) 414 85 82, fecha de última modificación: 01 Mayo 2024.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de Universidad Autónoma de Coahuila.

Tabla de Contenido

Título artículo/ Autores	Páginas
Protocolo para la micropropagación de la uva variedad “Cabernet Franc”: Resultados preliminares Magaña-González, M., Pérez-Álvarez, S., Escobedo-Bonilla, C.M., Sánchez-Chávez, E., Rascón-Solano, J., Hernández-Campos, R., Magallanes-Tapia, M.A.	1 – 14
Diseño e implementación de un dispositivo háptico tipo pantalla térmica para aplicaciones de realidad virtual con fines educativos y de entrenamiento Serrano-Pérez, E., Soberanes-Martín, A., Castro-San Agustín, J.R., Ávila-Aoki, M.	15 – 25
GTAW Butt Welded 6061-T6 Aluminum: Post-process Heat Treatment Effect on Mechanical and Microstructural Features Salgado-López, J.M., Cruz-González, C.E., Tello-Rico, M., León-Méndez, I., Guzmán-Flores, I., Granda-Gutiérrez, E.E.	26 – 43
Análisis del estrés laboral de los empleados en las empresas manufactureras de Zona Fronteriza en Reynosa Tamaulipas Morales-Rodríguez, M.A., Cervantes-Zubirías, G., Díaz-Martínez, M.A., Alva-Rocha, L.A., Morales-Rodríguez, J.A.	44 – 59



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Protocolo para la micropropagación de la uva variedad “Cabernet Franc”: Resultados preliminares

Protocol for the micropropagation of grape variety “Cabernet Franc”: Preliminary results

Magaña-González, M.^a, Pérez-Álvarez, S.^{a*}, Escobedo-Bonilla, C.M.^b, Sánchez-Chávez, E.^c, Rascón-Solano, J.^a, Hernández-Campos, R.^d, Magallanes-Tapia, M.A.^b

^a Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales; Universidad Autónoma de Chihuahua; C.P. 33000, Cd. Delicias Chihuahua, México.

^b Instituto Politécnico Nacional; CIIDIR Unidad Sinaloa; C.P. 81101, Guasave, Sinaloa, México.

^c Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Delicias; C.P. 33089, Delicias, Chihuahua, México.

^d Universidad Autónoma Metropolitana; Departamento de Biotecnología; Unidad Iztapalapa; C.P. 09340, Ciudad de México, México.

a310612@uach.mx; spalvarez@uach.mx*; cesar_escobedomx@yahoo.com; esteban@ciad.mx; jsolano@uach.mx; reinierhc86@hotmail.com; mmagallanes@ipn.mx

Innovación tecnológica: Metodología de micropropagación de la vid.

Área de aplicación industrial: Agrícola, vivero, industrial, cultivo *in vitro*.

Recibido: 10 octubre 2023

Aceptado: 02 abril 2024

Abstract

Micropropagation is a technique that allows producing disease-free plants, in large quantities and in a short time. The aim of this study was to establish the protocol for disinfection and *in vitro* multiplication of the grape (*Vitis vinifera* L.) of the Cabernet Franc variety using axillary buds as a source of explant. The buds received the following three disinfection treatments: (T1) Captan and Triadimefon for 10 min and 9% sodium hypochlorite (NaClO) for 10 min, (T2) 75% ethyl alcohol for 5 min and 2% NaClO for 20 min and (T3) 75% ethyl alcohol for 10 min and 2% NaClO for 20 min. Then they were established in Murashige and Skoog (MS) culture medium with four treatments for multiplication: (T1) 6-benzylaminopurine (6BAP) 1.0 mg L⁻¹ + Kinetin 0.5 mg L⁻¹;

(T2) Kinetin 3.0 mg L⁻¹ + gibberellic acid (AG3) 1.0 mg L⁻¹; (T3) 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kinetin 0.5 mg L⁻¹ + indole acetic acid (IAA) 0.2 mg L⁻¹; and (T4) Kinetin 1.5 mg L⁻¹ + naphthalene acetic acid (ANA) 0.5 mg L⁻¹. The disinfection percentage, bud development (multiplication) and multiplication coefficient were evaluated in five subcultures. The best response obtained in the disinfection treatments was with T2 and T3, obtaining 100% of the buds free of pathogens. In the multiplication phase, T4, obtained a vine bud multiplication frequency of 8.57 was obtained and T1 a multiplication coefficient of 3.8. Finally, with this research, a protocol for the disinfection and *in vitro* multiplication of vine buds of the “Cabernet Franc” variety was established.

Key words: Disinfection, *In vitro* multiplication, Plant growth regulators, *Vitis vinifera* L.

Resumen

La micropropagación es una técnica que permite producir plantas libres de enfermedades, en grandes cantidades y en corto tiempo. El objetivo de este estudio fue establecer el protocolo de desinfección y multiplicación *in vitro* de la uva (*Vitis vinifera* L.) de la variedad Cabernet Franc utilizando yemas axilares como fuente de explante. Las yemas recibieron los siguientes tres tratamientos de desinfección: (T1) Captan y Triadimefón por 10 min e hipoclorito de sodio (NaClO) al 9% por 10 min, (T2) alcohol etílico al 75% por 5 min y NaClO al 2% por 20 min y (T3) 75% alcohol etílico durante 10 min y NaClO al 2% durante 20 min. Luego se establecieron en medio de cultivo Murashige y Skoog (MS) con cuatro tratamientos para la multiplicación: (T1) 6-bencilaminopurina (6BAP) 1.0 mg L⁻¹ + Kinetina 0.5 mg L⁻¹; (T2) Kinetina 3.0 mg L⁻¹ + ácido giberélico (AG3) 1.0 mg L⁻¹; (T3) 6BAP 1.0 mg L⁻¹ + Kinetina 0.5 mg L⁻¹ + ácido indolacético (AIA) 0.2 mg L⁻¹; y (T4) Kinetina 1.5 mg L⁻¹ + ácido naftalenacético (ANA) 0.5 mg L⁻¹. Se evaluaron el porcentaje de desinfección, desarrollo de los brotes (multiplicación) y el coeficiente de multiplicación en cinco subcultivos. La mejor respuesta obtenida en los tratamientos de desinfección fue con T2 y T3 obteniendo el 100% de las yemas libres de patógenos. En la fase de multiplicación en el T4 se obtuvo una frecuencia de multiplicación de las yemas de vid de 8.57 y el T1 un coeficiente de multiplicación de 3.8. Finalmente, con esta investigación se estableció un protocolo para la desinfección y la multiplicación *in vitro* de yemas de vid variedad “Cabernet Franc”.

Palabras clave: Desinfección, Multiplicación *in vitro*, Reguladores del crecimiento vegetal, *Vitis vinifera* L.

1. Introducción

La uva (*Vitis vinifera* L.) es uno de los cultivos más antiguos y de mayor importancia económica a nivel mundial (1) y su producción en México se compone de tres sectores, para uso industrial, uva fruta y uva pasa (2).

México cuenta con más de 35,000 hectáreas sembradas y en el año 2021 se obtuvo una producción mayor a las 450,000 toneladas (3). Con los volúmenes de exportación, México se ubica en el 26° lugar como productor de uva fruta a nivel mundial (2),

mientras que Chihuahua se encuentra dentro de los 10 estados con mayor producción de uva industrial en 2022.

Las zonas de Bachiniva, Delicias, Sacramento, Encinillas y Chihuahua capital, son las mejores para cosechar uva, puesto que son zonas que cuentan con la gran ventaja de tener un clima semiárido frío con lluvias escasas, suelos arcillosos y gravosos (4). El cultivo se desarrolla entre los 22° y 23° latitud norte (centro-norte del país), donde el suelo es arcilloso, mayormente de mediana a poca profundidad (5).

La micropropagación es una herramienta esencial para la investigación de plantas ya que ofrece múltiples ventajas en comparación con los métodos convencionales de propagación, como la siembra de semillas, el uso de esquejes, injertos o acodos aéreos. Se trata de un proceso más rápido que facilita la producción y propagación de material vegetal genéticamente uniforme y sin enfermedades (6). Esta es una técnica que se utiliza para producir plántulas clonadas a partir de pequeñas secciones de tejidos vegetales en medios de cultivo adecuados, bajo condiciones asépticas controladas (7).

Hasta el momento existen pocas investigaciones que abordan el tema de la micropropagación de la uva en México principalmente por la inexistencia de biofábricas que le proporcione al productor las plántulas. Una de estas investigaciones utilizó la embriogénesis somática con ácido diclorofenoxiacético (2.4 D) (0.2 mg L^{-1}) en la variedad Cabernet Franc (8). En otro estudio se analizó el comportamiento de los brotes de los cultivares Red globe y Superior en tres medios de cultivo diferentes [Murashige y Skoog (MS), Chee y Pool (C2D), y Medio para Plantas Leñosas (WPM por su traducción al Inglés Woody Plant Medium] durante la fase de establecimiento y la influencia de cuatro citoquininas [6BAP, 2-

isopenteniladenina (2iP), kinetina (Kin) y thidiazuron (TDZ)] en la multiplicación, obteniéndose como resultado que en el medio WPM se observaron los brotes de mayor tamaño y hojas de 4 a 5 cm y en los medios C2D y WPM la media del tamaño de los brotes y del número de hojas fue mayor. Así mismo, al utilizar 6BAP a 1 mg L^{-1} se obtuvieron brotes de mayor tamaño y número de hojas (9).

A pesar que se ha presentado información sobre la micropropagación en el cultivo de la vid, persiste una falta de claridad de esta técnica aplicada a ciertas variedades adaptadas a la región centro-sur del Estado de Chihuahua, con yemas como material vegetal de propagación. El objetivo de esta investigación fue establecer un protocolo de desinfección y multiplicación *in vitro* de la uva (*Vitis vinifera* L.) de la variedad Cabernet Franc utilizando yemas axilares como fuente de explante.

2. Materiales y métodos experimentales

2.1 Material vegetal

El material vegetal utilizado en esta investigación fueron yemas axilares de vid recolectadas de plantas sembradas en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales (FCAyF) de la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), ubicado en Km. 2.5 carretera a Rosales, Poniente, 33000 Delicias, Chih.

2.2 Métodos de desinfección

Para la desinfección de las yemas seleccionadas se utilizaron tres tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos utilizados en la fase de desinfección.

Tratamiento	Reactivos	Tiempo
1	Captán 2.5g Triadimefón 3g	10 min
	Hipoclorito de sodio 9%	10 min
2	Alcohol etílico 75%	5 min
	Hipoclorito de sodio 2%	20 min
3	Alcohol etílico 75%	10 min
	Hipoclorito de sodio 2%	20 min

Las yemas axilares se lavaron muy bien con agua corriente y detergente y se procedió a colocarlas en los tratamientos de desinfección. Para el T1 se preparó una solución de 2.5 g de Captán (fungicida) y 3 g de Espectrum (Triadimefón + Azufre) en 200 ml de agua destilada más dos gotas de Tween 80. Las yemas axilares con la solución preparada se colocaron en la placa agitadora durante 10 min, después se enjuagaron tres veces con agua destilada y se les agregó el hipoclorito de sodio (NaClO) al 9% durante 10 min más. En el caso de los T2 y T3 al colocar las yemas después de lavadas en el alcohol etílico al 75% y unas gotas de Tween 80 se llevaron a la placa agitadora por 5 y 10 min, respectivamente. Después se enjuagaron tres veces con agua destilada y se añadió el NaClO 2% durante 20 min.

Al final las yemas axilares procedente de los tres tratamientos se enjuagaron tres veces con agua destilada estéril dentro de la campana de flujo laminar y se colocaron en cajas Petri con papel filtro para dejarlas secar durante 20 min para luego sembrarlas, 10 yemas por frasco, en los medios de multiplicación que se detallan en el apartado 2.3. Finalmente, los frascos se incubaron en condiciones controladas con temperatura constante de $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y fotoperiodo de 16 horas de iluminación con ocho horas de oscuridad.

Semanalmente, durante el mes de la fase de establecimiento, se evaluó el porcentaje de efectividad de los diferentes agentes desinfectantes utilizados mediante análisis visual, los frascos contaminados se eliminaban del proceso.

2.3 Metodología de multiplicación *in vitro*

El material vegetal, después de la desinfección, se estableció en medio de cultivo Murashige y Skoog (MS) (10) suplementado con 30 g L^{-1} de sacarosa, 2.5 g L^{-1} de phytogel, 100 mg L^{-1} de mioinositol, 2.5 g L^{-1} de carbón activado y los reguladores del crecimiento según el tratamiento correspondiente (Tabla 2). El pH se reguló a 5.8.

Tabla 2. Tratamientos utilizados en la fase de multiplicación *in vitro*.

Tratamiento	Medio de cultivo	Reguladores de crecimiento (mg L^{-1})
1	MS	6-BAP (1.0) Kin (0.5)
2	MS	Kin (3.0) AG3 (1.0)
3	MS	6-BAP (1.0) Kin (0.5) AIA (0.2)
4	MS	Kin (1.5) ANA (0.5)

Los explantes fueron incubados en condiciones controladas con temperatura constante de $26 \pm 2^\circ \text{C}$ y fotoperiodo de 16 horas de iluminación con ocho horas de oscuridad realizando subcultivos cada 21 días. Se realizaron cinco subcultivos y las variables evaluadas fueron desarrollo de los brotes (multiplicación) y el coeficiente de multiplicación.

2.4 Análisis estadístico

El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar. Los datos resultantes fueron analizados para determinar si eran normales mediante la prueba de normalidad Shapiro-Wilk

(<https://www.statskingdom.com/shapiro-wilk-test-calculator.html>).

Donde:

La prueba estadística tiene la siguiente forma:

$$B = \frac{(N - k) \ln \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - 1) s_{2i}}{N - k} - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln(S_{2i})}{1 + \frac{1}{(3k - 1)} \left[\left(\sum_{i=1}^k \frac{1}{1^{n_i - 1}} \right) - \frac{1}{N - k} \right]}$$

Donde: N es la suma de todas las muestras.

K es el número de categorías o grupos.

La prueba B tiene distribución asintótica χ^2 con $(k - 1)$ grados de libertad.

Donde: N es la suma de todas las muestras.

K es el número de categorías o grupos.

La prueba B tiene distribución asintótica χ^2 con $(k - 1)$ grados de libertad.

Si los datos no tienen distribución normal, se hará la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, la cual es una prueba que determina si la diferencia entre los rangos de dos o más grupos es significativa, usando los datos de las muestras.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

W = estadístico de normalidad de Shapiro-Wilk.

$(a_i x_{(i)})^2$ es el valor del dato i del tratamiento i elevado al cuadrado.

$(x_i - \bar{x})^2$ la diferencia del dato x_i respecto a la media del tratamiento i, elevado al cuadrado.

La prueba de hipótesis fue:

H0: los datos tienen distribución normal.

Ha: los datos tienen otra distribución.

La prueba de homoscedasticidad de Bartlett se utilizó para determinar si los datos entre tratamientos tienen homogeneidad de varianza.

La prueba de hipótesis fue:

H0: $s^2_1 = s^2_2 = \dots = s^2_n$

La prueba de hipótesis es:

H0: La media de rangos entre grupos es igual

Ha: La media de rangos entre grupos es diferente

El estadístico de prueba es:

$$H' = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{j=1}^n \left(\frac{R_j^2}{n_j} \right) - 3(n+1)$$

Donde:

R_j – la suma de rangos del grupo j.

n_j – el tamaño de muestra del grupo j.

n – el tamaño de muestra total entre todos los grupos, $n = n_1 + \dots + n_j$.

Posteriormente, se hizo la corrección de H' :

$$H = \frac{H'}{1-(0.05)}$$

(<https://www.statskingdom.com/kruskal-wallis-calculator.html>)

Para establecer las comparaciones múltiples entre tratamientos se usó la prueba U de Mann-Whitney con la corrección post hoc de Bonferroni.

El estadístico U de Mann-Whitney se usa para evaluar la probabilidad de que dos muestras vengan de la misma población comparando sus medianas.

La prueba de hipótesis es:

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 &= \mu_2 \\ &\text{entre grupos} \\ &\text{independientes.} \\ H_a: \mu_1 &\neq \mu_2 \\ &\text{entre grupos} \\ &\text{independientes} \end{aligned}$$

La prueba estadística U de Mann Whitney es el menor de dos valores: U_1 y U_2 , definidos como:

$$\begin{aligned} U_1 &= n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1 \\ U_2 &= n_2 n_1 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2 \end{aligned}$$

Donde:

n_1 = es el número de datos del grupo 1

n_2 = es el número de datos del grupo 2

R_1 = es la suma de rangos del grupo 1

R_2 = es la suma de rangos del grupo 2

Si los datos son normales se realizó un análisis de varianza y las diferencias entre las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$) utilizando el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4.

En la fase de establecimiento el tamaño de la muestra fue de diez yemas por tratamiento, sembrándose diez yemas por cada frasco. Para la fase de multiplicación se colocaron diez explantes por frasco y se realizaron tres repeticiones en ambas fases.

3. Discusión de resultados

3.1 Métodos de desinfección

En la figura 1 se muestran los resultados de la efectividad de los tratamientos utilizados en la fase de desinfección después de 72 horas de establecidas las yemas axilares *in vitro*. Para esto se evaluaron yemas vivas y libres de contaminación.

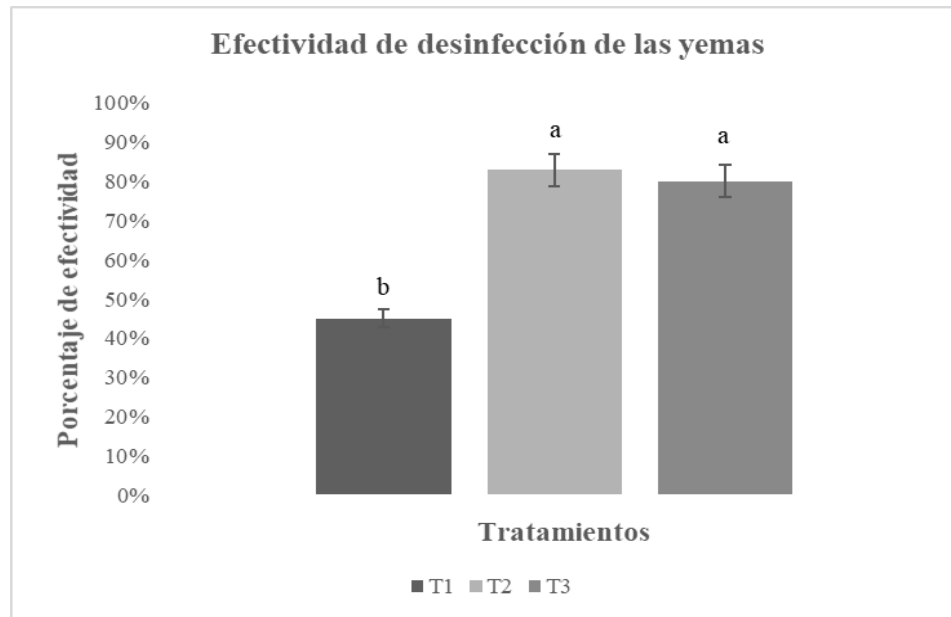


Figura 1. Porcentajes de efectividad en los tratamientos de desinfección para las yemas de vid donde T1= Captán y Triadimefón por 10 min y NaClO 9% por 10 min; T2= Alcohol etílico 75% por 5 min y NaClO 2% por 20 min; T3= Alcohol etílico 75% por 10 min y NaClO 2% por 20 min.

Los mejores tratamientos fueron el T2 y T3 sin diferencias significativas entre ambos, obteniéndose un 83 y 80% de desinfección, respectivamente. La micropropagación, que implica el cultivo de tejidos vegetales en condiciones controladas, es especialmente susceptible a la contaminación debido a las condiciones ideales para el crecimiento de hongos y bacterias por lo que una falla en los tratamientos de desinfección puede implicar que no se pueda establecer la metodología *in vitro* (11). Los contaminantes que trae el material vegetal provenientes del ambiente externo se eliminan normalmente con agua corriente y agentes desinfectantes como lo es el hipoclorito de sodio, ampliamente utilizado con estos fines por su actividad antimicrobiana (12, 13).

En un estudio previo los segmentos nodales de *V. vinifera* var. Cabernet Franc se

desinfectaron utilizando agua con jabón por 5 min, alcohol 70% por 3 s e hipoclorito de sodio 15% por 20 min y obtuvieron un 88% de material limpio (8), coincidiendo con los resultados informados en esta investigación. Otros autores también lograron reducir la contaminación al utilizar hipoclorito de sodio y los enjuagues con agua destilada estéril (12, 14).

Respecto al crecimiento de las yemas, se observó que, en el T1 la mayoría no presentó crecimiento, a diferencia de los otros dos tratamientos y aunque algunas yemas se observaron sanas y sin contaminación, no lograron pasar al proceso de multiplicación, posiblemente porque el captán y triadimefón inhibieron el desarrollo del material vegetal (Figura 2).

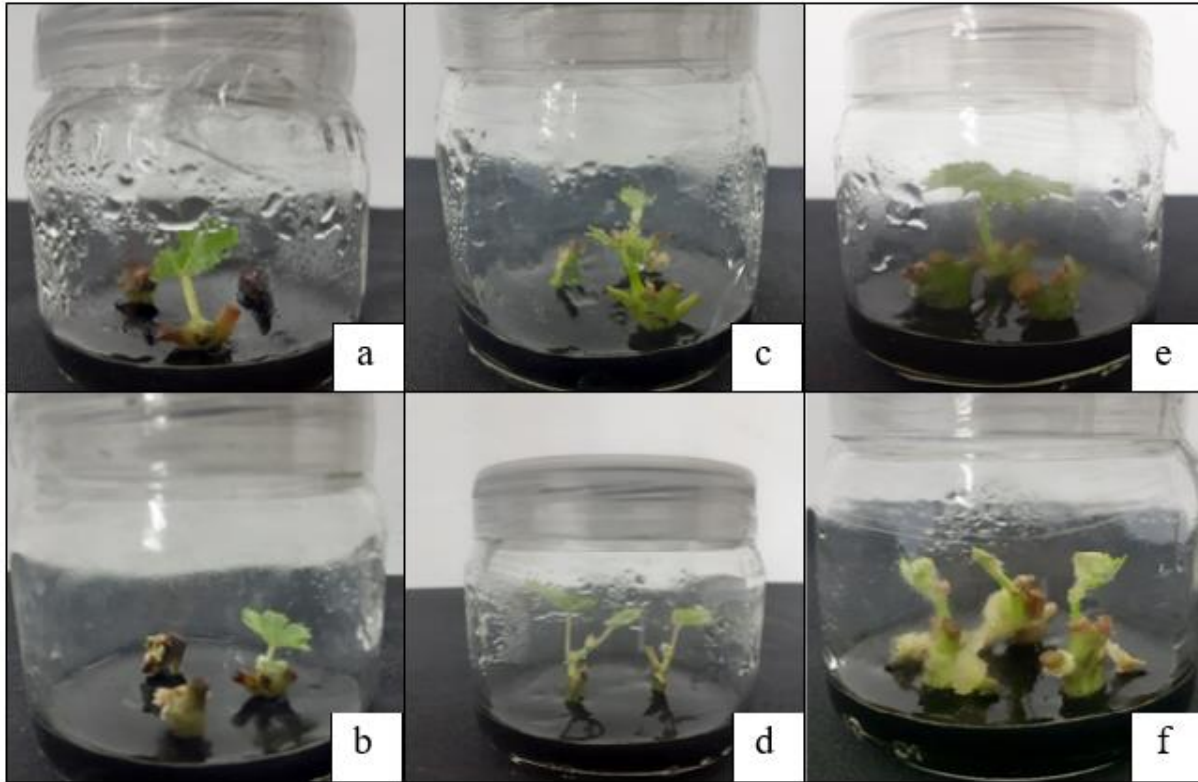


Figura 2. Desarrollo de las yemas en cada uno de los tratamientos de desinfección utilizados donde: a) y b) T1= Captán y Triadimefón por 10 min y NaClO 9% por 10 min; c) y d) T2= Alcohol etílico 75% por 5 min y NaClO 2% por 20 min; e) y f) T3= Alcohol etílico 75% por 10 min y NaClO 2% por 20 min.

El resultado obtenido es similar a lo informado por (6), quien utilizó como medio de desinfección en la variedad de vid “Parvana”, hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) y alcohol etílico al 70%, haciendo mención que a mayor concentración de los reactivos y tiempo en que se someten las yemas en los tratamientos de desinfección, se observa menos contaminación; pero a su vez, no hay crecimiento de los explantes. El impacto

negativo de la exposición de los explantes por largos periodos a los diferentes agentes de desinfección también fue señalado por (11).

3.2 Metodología de multiplicación *in vitro*

Los datos de frecuencia de multiplicación de yemas en cada tratamiento se presentan en la figura 3.

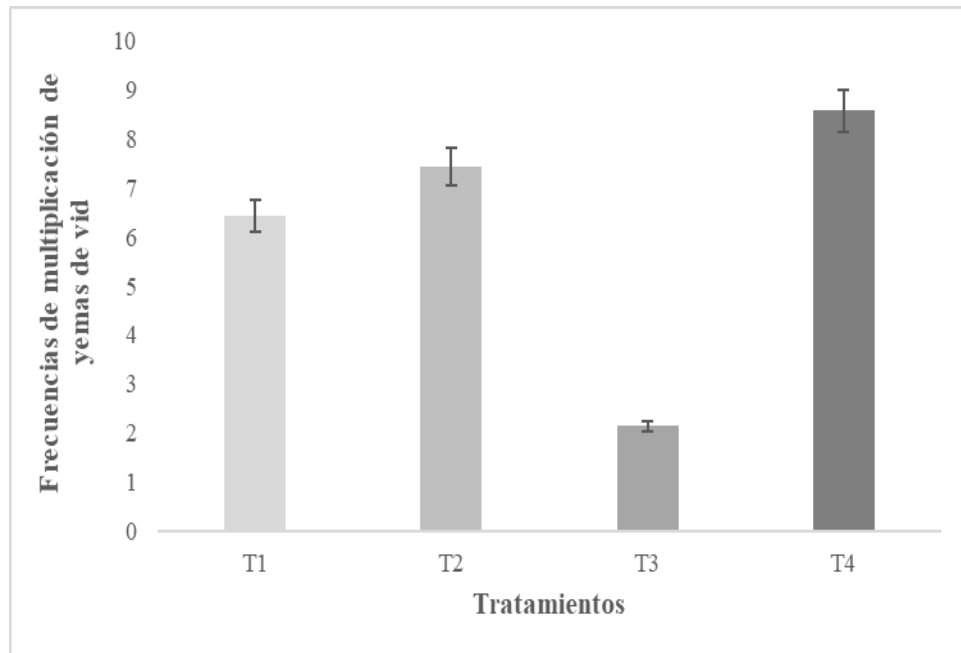


Figura 3. Frecuencia de multiplicación de las yemas de vid en cada uno de los medios de multiplicación donde: T1= 6-BAP 1.0 mg L⁻¹ y Kin 0.5 mg L⁻¹; T2= Kin 3.0 mg L⁻¹ y AG₃ mg L⁻¹; T3= 6-BAP 1.0 mg L⁻¹, Kin 0.5 mg L⁻¹ y AIA 0.2 mg L⁻¹; T4= Kin 1.5 mg L⁻¹ y ANA 0.5 mg L⁻¹.

El tratamiento con la mayor frecuencia de multiplicación de las yemas de vid fue el T4 con una frecuencia de 8.57, seguido por el T2 con frecuencia de 7.43, T1 con frecuencia de 6.43 y por último el T3 con una frecuencia de 2.14. En los tratamientos T2 y T4 se utilizó

Kin complementada con AG3 y ANA, respectivamente, obteniéndose frecuencia de multiplicación de las yemas mayores a 7 y también, en estos tratamientos, se observó el mayor crecimiento y desarrollo (Figura 4).

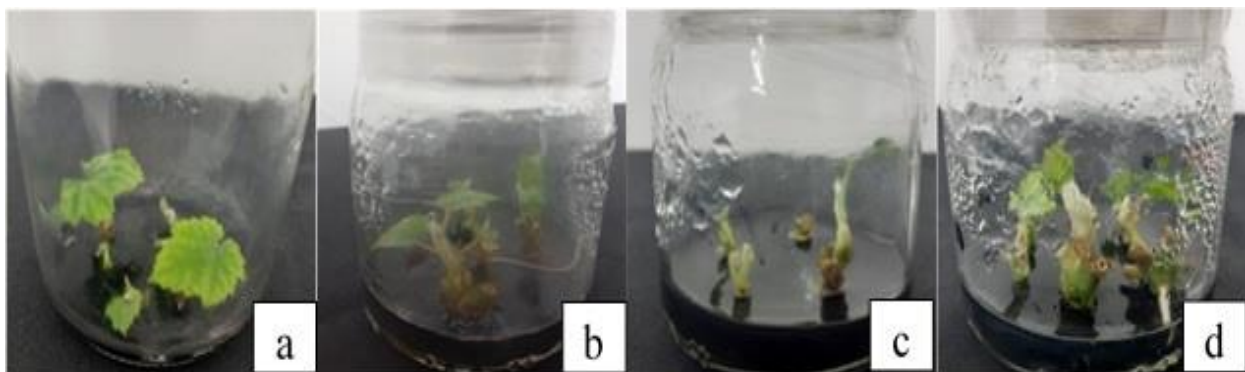


Figura 4. Desarrollo de las yemas en cada uno de los medios de multiplicación donde: a) T1= 6-BAP 1.0 mg L⁻¹ y Kin 0.5 mg L⁻¹; b) T2= Kin 3.0 mg L⁻¹ y AG₃ mg L⁻¹; c) T3= 6-BAP 1.0 mg L⁻¹, Kin 0.5 mg L⁻¹ y AIA 0.2 mg L⁻¹; d) T4= Kin 1.5 mg L⁻¹ y ANA 0.5 mg L⁻¹.

El análisis de normalidad de Shapiro-Wilk mostró un valor W de 0.7591, el cual es menor que el W esperado para una muestra de n= 40; p < 0.001.

Este análisis indica que los datos no se ajustan a una curva normal, por lo que el análisis estadístico fue el no paramétrico de Kruskal-Wallis. El valor H' calculado fue de 6.9962, y el valor H (corregido) fue de 7.8151, el cual

está fuera del valor esperado 7.82 ($p = 0.05$). Este resultado indica que hay diferencias significativas ($p < 0.02$) en los rangos entre algunos grupos.

El análisis U de Mann-Whitney se usó para comparar los rangos entre grupos. Este análisis encontró diferencias significativas entre los rangos medios entre los grupos T2 - T3 y entre los grupos T3 - T4 (Tabla 3).

Tabla 3. Comparaciones múltiples entre rangos de grupos.

Grupos	Diferencia	Valor H	Valor critico	Valor p
T ₁ -T ₂	2	0.5139	3.8415	0.4735
T ₁ -T ₃	6.5	2.4301	3.8415	0.119
T ₁ -T ₄	3.5	1.029	3.8415	0.3104
T ₂ -T ₃	8.5	5.3801	3.8415	0.02037
T ₂ -T ₄	1.5	0.173	3.8415	0.6774
T ₃ -T ₄	10	6.0895	3.8415	0.0136

En los tratamientos T2 y T4 durante los primeros 22 días de establecimiento en los medios de cultivo se observó más crecimiento y desarrollo que en los otros dos tratamientos (Figura 4). La utilización de citoquininas para el desarrollo exitoso de explantes de vid se ha utilizado en varias investigaciones. En un estudio realizado por (16) utilizaron nódulos como material vegetal en variedades de *V. vinifera*, “Chenin blanc”, “Canonnanon” y “Ugni blanc” y la multiplicación se realizó en medio MS y 6BAP obteniendo un buen crecimiento en cuatro semanas. De forma similar (9, 17) obtuvieron el mayor número de brotes al utilizar 6BAP.

En el presente estudio, al utilizar el 6BAP se obtuvieron buenos resultados, aunque el mayor desarrollo de las yemas se observó con Kin combinada con auxinas. El establecimiento de explantes tiene una buena respuesta con el uso de citoquininas en el medio de cultivo (18), como se muestra en los resultados de los tratamientos T1, T2 y T4.

La utilización de auxinas en el medio de cultivo para la multiplicación en explantes de vid no se ha informado, se han utilizado mayormente para formar callos y raíces. La

utilización de ANA para la multiplicación *in vitro* de vid cultivar “Shine Muscat” inhibió la formación de brotes e indujo el desarrollo de callos y el AIA se utilizó para formar raíces (19). En esta investigación la combinación de Kin y ANA, estando en mayor proporción la citoquinina, favoreció la multiplicación de los explantes de vid coincidiendo esto con la fisiología de los reguladores del crecimiento donde una mayor proporción de citoquinina en relación con una auxina promueve el desarrollo de brotes (20). Las auxinas pueden inducir la formación de brotes y raíces (21), razón por la cual se combinaron ambos reguladores del crecimiento en este estudio.

En un estudio realizado por (14), se emplearon brotes axilares y tejidos meristemáticos como materiales de partida para la propagación en cultivo *in vitro* de las cepas Cabernet Sauvignon y Merlot. Estos explantes se cultivaron en un medio MS suplementado con fitohormonas, y se observaron resultados más favorables con una concentración de 1,0 mg L⁻¹ de 6BAP.

El número de brotes multiplicados obtenidos en cada uno de los tratamientos, se muestra en

la figura 5. En ella, se observa que la cantidad oscila entre 1.6 y 3.8 brotes multiplicados por yema establecida en el medio de cultivo.

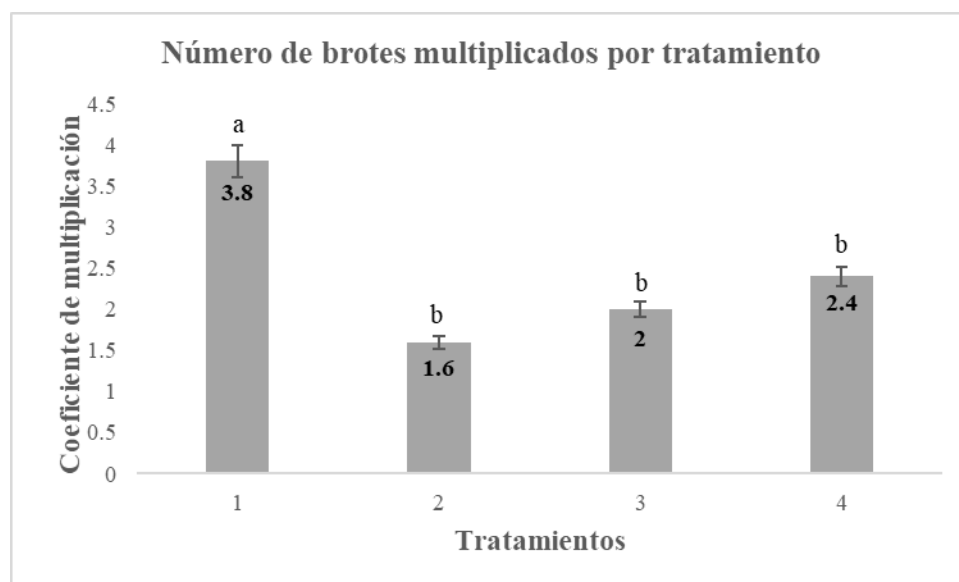


Figura 5. Coeficiente de multiplicación en cada uno de los medios donde: T1= 6-BAP 1.0 mg L⁻¹ y Kin 0.5 mg L⁻¹; T2= Kin 3.0 mg L⁻¹ y AG₃ mg L⁻¹; T3= 6-BAP 1.0 mg L⁻¹, Kin 0.5 mg L⁻¹ y AIA 0.2 mg L⁻¹; T4= Kin 1.5 mg L⁻¹ y ANA 0.5 mg L⁻¹.

Los resultados obtenidos por (8) difieren con los de esta investigación, ya que ellos obtuvieron un mayor número de brotes en variedades de vid Ugni blanc (5.3 ± 1.9), Chenin blanc (5.0 ± 0.9) y Canonannon (5.6 ± 1.7), con 0.5 mg L⁻¹ de 6-BAP. En otra investigación realizada con uva (19) obtuvieron 2.14 brotes por explante con 2.0 μM BA (Benciladenina) en medio MS, siendo diferente a los resultados de este estudio donde el mayor coeficiente de multiplicación (3.8 brotes por explante) se obtuvo al combinar dos citoquininas (1.0 mg L⁻¹ de 6BAP combinado con Kin 0.5 mg L⁻¹) coincidiendo con investigaciones anteriores donde emplearon citoquininas para la proliferación de brotes *in vitro* (22, 23).

En todos los medios de cultivo se adicionó el carbón activado (CA) como suplemento debido a que algunos investigadores plantean que el CA puede liberar gradualmente ciertos productos adsorbidos, como nutrientes y

reguladores del crecimiento vegetal, además de adsorber y eliminar compuestos no deseados en el medio de cultivo como fenoles (18). La adición de CA a medios de cultivo en general es una práctica reconocida y su influencia en el crecimiento y el desarrollo de las plántulas puede atribuirse principalmente a la adsorción de sustancias inhibitoras en el medio de cultivo (18), la disminución del estrés oxidativo (24), y el establecimiento de un ambiente oscurecido en el medio (25).

4. Conclusiones

Para el protocolo de micropropagación de la uva variedad "Cabernet Franc se establece como método de desinfección para yemas axilares alcohol etílico al 75% durante 5 min, e hipoclorito de sodio al 2% durante 20 min (T2) y para la fase de multiplicación el medio Murashige y Skoog (MS) suplementado con sacarosa 30 g L⁻¹, phytoigel 2.5 g L⁻¹, carbón activado 2.5 g L⁻¹, 100 mg L⁻¹ de mioinositol, Kin 1.5 mg L⁻¹ y ANA 0.5 mg L⁻¹ (T4), esto

para el desarrollo de los brotes durante los primeros 21 días de establecido el cultivo (primer subcultivo) y para aumentar el número brotes (coeficiente de multiplicación) adicionar 6BAP 1.0 mg L⁻¹ y Kin 0.5 mg L⁻¹ (T1) en los subcultivos siguientes.

5. Referencias

1. Borja-Bravo, M., García-Salazar, J. A., Reyes-Muro, L. and Arellano-Arciniega, S. (2016). Rentabilidad de los sistemas de producción de uva (*Vitis vinífera*) para mesa e industria en Aguascalientes, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 13(1): 151-168. <https://doi.org/10.22231/asyd.v13i1.285>
2. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2022). *Panorama agroalimentario*. https://drive.google.com/file/d/1jVW_S4EFKK7HGwQOBpGeljUyaDT8X8Iyz/view (Consultado el 19 de Junio de 2023).
3. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2021). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagrico/la/> (Consultado el 03 de Mayo de 2023).
4. CMV (Consejo Mexicano Vitivinícola). (2018). *Producción del vino en México*. https://uvayvino.org.mx/html/docs/produccion_consumo_vino.pdf (Consultado el 15 de Octubre de 2023).
5. CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria). (2017). Investigación interna: La vid en México. Cámara de Diputados, LXIII Legislatura, Ciudad de México, 19p.
6. Gallino, J.P. (2023). Cultivo de tejidos vegetales y sus aplicaciones en el mejoramiento de cultivos. *Revista INIA*, 75: 89-92.
7. Ramírez-Mosqueda, M. A., Sánchez-Segura, L., Hernández-Valladolid, S. L., Bello-Bello, E. and Bello-Bello, J. J. (2020). Influence of silver nanoparticles on a common contaminant isolated during the establishment of *Stevia rebaudiana* Bertoni culture. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 143: 609-618. <https://doi.org/10.1007/s11240-020-01945-9>
8. García, Y.S., González, E. A., Ruíz, O. M., Insausti, M.C.P., Gutiérrez, M.H., Fernandez, E.S. and Pedranzani, H.E. (2023). *In vitro* micropropagation of *Vitis vinifera* L. var. Cabernet Franc and callus production. *Asian Journal of Agriculture and Allied Sciences*, 6(1): 30-38.
9. Osama, S. S. (2022). Micropropagation of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cvs. Red globe and superior. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 53(4):833-849. <https://doi.org/10.36103/ijas.v53i4.1596>
10. Murashige, T. and Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Plant Physiology*, 15(3): 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
11. Bello-Bello, J. J., Schettino-Salomón, S., Ortega-Espinoza, J. and Spinoso-Castillo, J. L. (2021). A temporary immersion system for mass micropropagation of pitahaya (*Hylocereus undatus*). *3 Biotech*, 11: 437.

- <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02984-5>
12. Mahmoud, S.N. and Al-Ani, N.K. (2016). Effect of different sterilization methods on contamination and viability of nodal segments of *Cestrum nocturnum* L. *International Journal of Research Studies in Biosciences*, 4(1): 4-9. <http://dx.doi.org/10.20431/2349-0365.0401002>
 13. Echenique-Quezada, M. A. y Condori Almanza, L. L. (2023). Efecto de diferentes concentraciones y tiempos de inmersión de hipoclorito de sodio en el establecimiento *in vitro* de Asaí (*Euterpe precatoria* Mart). *Apthapi*, 9(3): 2572-2582
 14. Cavazos-Galindo, J.M., Alvarado-Gómez, O.G., Santos-Haliscak, J.A., Moreno-Degollado, G., Rodríguez Fuentes, H. y Ojeda-Zacarías, M. del C. (2018). Propagación clonal de dos cultivares adultos de vid (*Vitis vinifera* L.) para su conservación *in vitro*. *Polibotánica*, 45: 181-190. <http://dx.doi.org/10.18387/polibotani.ca.45.13>
 15. Tarinejad, A. and Amiri, S. (2019). Influence of plant growth regulators, carbohydrate source and concentration on micropropagation and other physiological traits of grape (*Vitis vinifera* L. cv. Shahroudi) under *in vitro* conditions. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 9(1):75-82.
 16. Kinf, B., Feyssa, T., and Bedada, G. (2017). *In vitro* micropropagation of grape vine (*Vitis vinifera* L.) from nodal culture. *African Journal of Biotechnology*, 16(43): 2083-2091.
 17. Asim-Hashemi, S.A., Sathyanarayana, B. N. y Sharaf, Z. (2020). *In Vitro* Propagation of Grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Thompson Seedless. *Indian Journal of Pure Applied Bioscience*, 8(5):421-428.
 18. Poniewozik, M., Parzymies, M., Szot, P. (2022). Effect of activated charcoal and ascorbic acid on *in vitro* morphogenesis and o-dihydroxyphenols content in *Paphiopedilum insigne*. *Horticultural Science* (Prague), 49(1): 48-51. <https://doi.org/10.17221/68/2020-HORTSCI>
 19. Kim, S.-H., Zebro, M., Jang, D.-C., Sim, J.-E., Park, H.-K., Kim, K.-Y., Bae, H.-M., Tilahun, S., Park, S.-M. (2023). Optimization of plant growth regulators for *in vitro* mass propagation of a disease-free ‘Shine Muscat’ grapevine cultivar. *Current Issues in Molecular Biology*, 45, 7721–7733. <https://doi.org/10.3390/cimb45100487>
 20. Jing, H. and Strader, L.C. (2019). Interplay of auxin and cytokinin in lateral root development. *International Journal of Molecular Sciences*, 20, 486. <https://doi.org/10.3390/ijms20030486>
 21. Ribeiro, Y.R. de S., Aragão, V.P.M., Sousa, K.R. de, Macedo, A.F., Floh, E.I.S., Silveira, V., Santa-Catarina, C. (2022). Involvement of differentially accumulated proteins and endogenous auxin in adventitious root formation in micropropagated shoot cuttings of *Cedrela fissilis* Vellozo (Meliaceae). *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 148:119-135.
 22. Qiu, Y., Guan, S.C., Wen, C., Li, P., Gao, Z. and Chen, X. (2019). Auxin and cytokinin coordinate the dormancy and outgrowth of axillary bud in strawberry runner. *BMC Plant Biology*, 19:528. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-2151-x>
 23. Nowakowska, K., Pińkowska, A., Siedlecka, E. and Pacholczak, A.

- (2022). The Effect of Cytokinins on Shoot Proliferation, Biochemical Changes and Genetic Stability of *Rhododendron* 'Kazimierz Odnowiciel' in the in Vitro Cultures. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 149:675-684.
<https://doi.org/10.1007/s11240-021-02206-z>
24. Zhang, Y., Lin, Z., Wang, L., Guo, X., Hao, Z., Li, Z., Johnston, L.J., Dong, B. (2022). Cooperative interaction of phenolic acids and flavonoids contained in activated charcoal with herb extracts, involving cholesterol, bile acid, and FXR/PXR activation in broilers fed with mycotoxin-containing diets. *Antioxidants* (Basel), 11(11):2200.
<https://doi.org/10.3390/antiox11112200>
25. Díaz Lezcano, M. I., Flor Benítez, B.A., Enciso Garay, C.R. y González Segnana, L. R. (2016). El carbón activado y las condiciones de oscuridad en la micropropagación de banana variedad Nanicão. *Revista Colombiana de Biotecnología*, XVIII (2):140-146.
<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.55618>



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Diseño e implementación de un dispositivo háptico tipo pantalla térmica para aplicaciones de realidad virtual con fines educativos y de entrenamiento

Design and implementation of a haptic thermal display device for virtual reality applications for education and in training purposes

Serrano-Pérez, E.* , Soberanes-Martín, A., Castro-San Agustín, J.R., Ávila-Aoki, M.

Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Valle de Chalco; C.P. 566615, México.
eserranop_s@uaemex.mx*; asoberanesm@uaemex.mx; jcastros248@uaemex.mx; vlkmanuel@uaemex.mx

Innovación tecnológica: Display térmico con sistema de control difuso para realidad virtual.

Área de aplicación industrial: Capacitación con realidad virtual, Aulas y laboratorios de educación y entrenamiento.

Recibido: 23 abril 2023

Aceptado: 03 marzo 2024

Abstract

This work details the design and implementation of a thermal screen type device, focused on the presentation of information in the form of temperature. In this way, the user can perceive information when in contact with it and be used in virtual reality applications. The electronic control circuit, the design of a Sugeno-type fuzzy controller and the description of a virtual reality application developed in Unity for educational purposes are specified. The arrangement that allows returning to the initial operating condition by means of a network of cooling pipes by internal water circulation is described. The development is based on the premise of increasing realism in virtual reality applications by focusing the attention and focus of users during the learning process. As a result, the response curve to different temperature reference inputs is presented to evaluate the performance of the fuzzy controller. The dynamic temperature color scale is presented based on the temperature measurements made by the controller, providing thermal and visual information simultaneously through the device. Derived from the performance tests, the temperature-humidity haptic illusion was identified during the cooling stage, so in future work, further exploration of haptic illusions with virtual reality will be carried out.

Key words: Fuzzy control, Haptic, Human-Computer Interaction, Virtual reality.

Resumen

En este trabajo se detalla el diseño e implementación de un dispositivo de tipo pantalla térmica, enfocado en la presentación de información en forma de temperatura. De esta manera, el usuario puede percibir información al estar en contacto con el mismo y ser utilizado en aplicaciones de realidad virtual. Se especifica el circuito de control electrónico, el diseño de un controlador difuso tipo Sugeno, así como la descripción de una aplicación de realidad virtual desarrollada en Unity con fines didácticos. Se describe el arreglo que permite regresar a la condición inicial de operación, mediante una red de tuberías de enfriamiento por circulación interna de agua. El desarrollo se basa en la premisa de incrementar el realismo en aplicaciones de realidad virtual en virtud de focalizar la atención y enfoque de los usuarios durante el proceso de aprendizaje. Como resultados se presenta la curva de respuesta ante distintas entradas de referencia de temperatura, a fin de evaluar el desempeño del controlador difuso. Se presenta la escala dinámica de colores de temperatura en función de las mediciones de temperatura que realiza el controlador, proporcionando información térmica y visual de forma simultánea a través del dispositivo. Derivado de las pruebas de funcionamiento, se identificó la ilusión háptica temperatura-humedad durante la etapa de enfriamiento, por lo que en trabajos futuros se realizará una mayor exploración de ilusiones hápticas con realidad virtual.

Palabras clave: Control difuso, Háptico, Interacción hombre-computadora, Realidad virtual.

1. Introducción

La adopción de tecnologías como la realidad virtual y aumentada en los procesos de enseñanza y aprendizaje han mostrado un gran potencial educativo al permitirle a los estudiantes visualizar información gráfica relevante en un entorno que puede ser totalmente simulado (Zhou & Deng 2009), para el caso de la realidad virtual (VR) o con objetos virtuales superpuestos en la captura de una imagen real (Carmigniani & Furht 2011), como es el caso de la realidad aumentada (AR). En ambos casos, el despliegue de la información es a través de una pantalla que permite la visualización gráfica de texto, números y objetos de utilidad para los estudiantes en distintos contextos. Se han reportado aplicaciones en diversas áreas de estudio como la anatomía (Izard, Juanes Méndez, & Palomera 2017), las matemáticas (Buentello-Montoya, Lomelí-Plascencia, & Medina-Herrera 2021), la física (Neroni, Oti,

& Crilly 2021) o la enseñanza de idiomas (Cheng, Yang, & Andersen 2017).

A pesar de las bondades y ventajas que representan el uso de sistemas de realidad virtual y realidad aumentada en la educación y entrenamiento por sí solos, se requiere el desarrollo y uso de sistemas de retroalimentación háptica para incrementar el nivel de inmersión y realismo durante el uso de dichas tecnologías. Este proceso, está dando paso a la formación de un concepto actualmente denominado realidad extendida (XR), donde la percepción y retroalimentación del usuario es fundamental para incrementar el grado de inmersión y realismo durante el uso de aplicaciones de dichas tecnologías. De esta manera, es posible favorecer y vincular el uso de los distintos sentidos del ser humano, mejorando el enfoque y concentración en las tareas y actividades realizadas en los entornos virtuales que conllevan principalmente al

desarrollo de habilidades motrices, frecuentemente requeridas en diversas disciplinas prácticas, como la medicina (Collaço et al. 2021; Sapkaroski et al. 2018), la educación (Edwards et al. 2019; Richard et al. 2006; S. Lontschar et al. 2020) y áreas de la ingeniería (Grajewski et al. 2015; Noghabaei & Han 2021).

En el contexto de los países en vías de desarrollo, el uso de tecnologías educativas en aulas, laboratorios y salón de clases de universidades públicas se encuentra limitado por diversos factores. Por un lado, es difícil la asignación de recursos para la adquisición de dispositivos hápticos comerciales, aunado a una gran matrícula estudiantil que debe de cubrirse para que todos los alumnos tengan acceso al uso de la tecnología. Además, generalmente los dispositivos hápticos comerciales son de tecnología cerrada y presentan tanto poca adaptabilidad como poca flexibilidad para ser utilizados bajo distintos contextos educativos. Situaciones de emergencia como la pandemia de COVID-19 acentúan la necesidad de contar con una mayor cantidad de dispositivos hápticos por cada estudiante o usuario, a fin de limitar el compartir los dispositivos tangibles que promuevan la transmisión de virus y bacterias conservando el activo desarrollo de habilidades motrices y psicomotoras a través del uso del tacto (Motaharif et al. 2021; Sanfilippo et al. 2022).

Dentro del área de los dispositivos hápticos, las pantallas térmicas han atraído la atención ya que permiten el despliegue de información en forma de la variable de temperatura. Uno de los objetivos de una pantalla térmica es simular o representar las situaciones cotidianas de la vida real que ocurren en los ambientes de realidad virtual y aumentada, lo que se traduce en un incremento tanto de realismo como de inmersión durante su uso. Diversos escenarios en el mundo real requieren del uso del tacto para conocer

información térmica y crear una mejor representación del entorno del ser humano a fin de poder tomar mejores decisiones. Los reportes en la literatura muestran que el desarrollo de pantallas térmicas se ha focalizado en el desarrollo de dispositivos de pequeña dimensión, o embebidos en textiles y guantes flexibles que focalizan su operación en pequeñas regiones y superficies de la piel (Gallo et al. 2015; Hirai & Miki 2019; Kim et al. 2020).

Por otro lado, el desarrollo de pantallas térmicas con mayor superficie de contacto ha sido menos abordado; sin embargo, existen una gran variedad de actividades de percepción térmica que se realizan en la vida cotidiana utilizando mayores regiones de contacto con la piel; generalmente vinculadas a la ejecución de acciones que se vinculan con la fuerza y presión del sistema locomotor humano. Algunos ejemplos son la verificación de la temperatura de una tubería en un motor de combustión interna, la manipulación de alimentos y bebidas con determinadas temperaturas, o la estimación de la fiebre al colocar la palma de la mano sobre la frente de una persona. Es decir, actividades que por su naturaleza requieran vincular la percepción de presión, peso o una mayor superficie de contacto entre los objetos que se manipulan y la temperatura de estos. En algunos casos, la vinculación de más sentidos da como resultado el surgimiento de ilusiones hápticas relacionadas con la temperatura (Carnahan, Dubrowski, & Grierson 2010; H. -N. Ho et al. 2019; Ho et al. 2014; Kuhtz-Buschbeck & Hagenkamp 2020; Trojan et al. 2018); situaciones interesantes que aún se encuentran por explorar en contextos como la realidad extendida.

En la actualidad, existe un incremento en el número de herramientas disponibles para implementar algoritmos de inteligencia artificial en hardware de bajo costo, por lo

que se han convertido en una alternativa accesible para el desarrollo de dispositivos de retroalimentación háptica. En este sentido, las tarjetas basadas en microcontrolador como Arduino y el gradual incremento de sensores, módulos de potencia y actuadores, han permitido el desarrollo de diversos recursos educativos en el pasado (F. Sanfilippo & K. Y. Pettersen 2015; J. J. Gil et al. 2014). En este sentido, el presente proyecto tiene el objetivo de desarrollar un dispositivo de retroalimentación háptica del tipo pantalla térmica para aplicaciones educativas y de entrenamiento con realidad virtual y/o aumentada; que resulte accesible, flexible y de bajo costo para ser replicado y adaptado por la comunidad académica del nivel superior. De esta manera, se ha contribuido al desarrollo de un dispositivo háptico del tipo pantalla térmica, controlado mediante técnicas de inteligencia artificial, como lo es el control difuso. El sistema puede ser replicable mediante dispositivos electrónicos de bajo costo, como la tarjeta con microcontrolador y los sensores y actuadores presentados. Este proceso facilita la comunicación con aplicaciones de realidad virtual, a fin de comunicar dispositivos externos que interactúan en tiempo real con los objetos dinámicos del ambiente virtual, proporcionando información háptica y visual simultáneamente al usuario.

El trabajo se estructuró con una introducción, donde se presenta la importancia de los sistemas de realidad virtual en la educación, además las oportunidades que presentan los sistemas hápticos como medio para incrementar la inmersión y el realismo. En este sentido, los sistemas de información en base a temperatura han sido poco explorados por lo que en la sección de métodos y materiales se detallan los procesos que permiten el desarrollo del dispositivo aquí presentado. Se brinda una descripción de los materiales, sensores y actuadores utilizados en la estructura electrónica y mecánica del

mismo. Se proporciona una descripción del funcionamiento de la aplicación de realidad virtual, donde se despliega en tiempo real una escala de colores dinámica en forma de termómetro visual para el usuario, que permite relacionar de forma física y visual la temperatura actual del dispositivo. Además, se brinda una descripción del sistema de control difuso de tipo Sugeno para regular la temperatura del dispositivo. En la sección de resultados y discusión se verifica el funcionamiento del sistema de control difuso mediante el software Matlab, obteniendo la curva de respuesta del controlador. Se realiza una descripción del funcionamiento del dispositivo al implementar el algoritmo con el software de Arduino, además se describe el sistema de enfriamiento mediante una tubería interna de agua que permitió la identificación de la ilusión háptica de humedad-temperatura. Finalmente, se presenta una sección de conclusiones donde se incluyen las perspectivas y trabajos a futuro por desarrollar.

2. Métodos y materiales

Se implementó un dispositivo de retroalimentación háptica del tipo pantalla térmica con una superficie de contacto cilíndrica utilizando un tubo de cobre estándar de $\frac{1}{2}$ pulgada comúnmente utilizado en las instalaciones hidráulicas residenciales. Se seleccionó el cobre, porque cuenta con una alta conductividad térmica y que facilita la propagación del calor (Lira-Cortés, González Rodríguez, & Méndez-Lango 2008). Se maquinaron 2 placas de cobre para soldar con estaño el tubo ubicado en el centro de estas, formando un arreglo que permitiera ubicar en cada una de las caras externas, una celda Peltier. A través de la regulación de la corriente eléctrica se puede controlar el calentamiento de las placas y consecuentemente el tubo de cobre a través del fenómeno de conducción, tal y como se

observa el detalle de la implementación en la Figura 1.

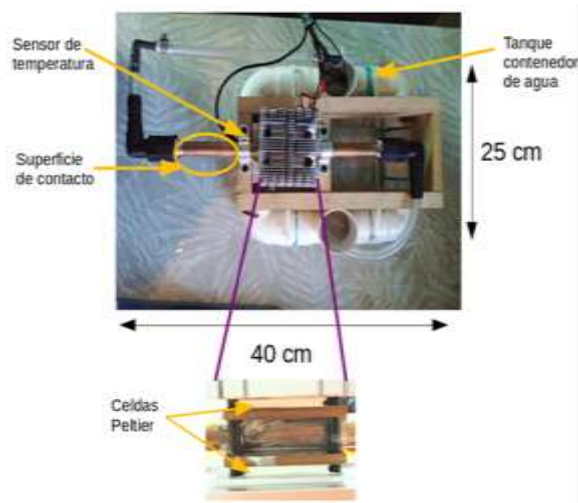


Figura 1. Esquema de representación del dispositivo de retroalimentación háptica del tipo pantalla térmica desarrollado con celdas Peltier.

Para acelerar el proceso de enfriamiento a fin de regresar el sistema a condiciones iniciales de operación con temperatura ambiente, se utilizó una microbomba de agua ubicada al interior de un tanque contenedor de PVC, con una capacidad de 1.5 litros de agua. En los extremos del tubo de cobre se soldaron conexiones roscadas para permitir la conexión de tubería y elementos de PVC para formar un circuito de enfriamiento interno por agua. Se fijó el arreglo de las celdas Peltier y el contenedor de agua mediante una estructura de madera, la cual además provee la altura necesaria para que el usuario pueda tocar y sujetar la superficie de contacto de manera libre. Se obtuvo una estructura compacta y con suficiente rigidez estructural para ser fácilmente transportada y ser utilizada sin presentar deformaciones o alteraciones en su funcionamiento.

El sistema electrónico consta como elemento principal, de una tarjeta basada en Arduino Nano, que utiliza 3 de sus entradas digitales, una para el sensor de temperatura digital DS18B20, el cual se alimentó de la fuente de

voltaje propia de una tarjeta Arduino Nano que suministra 5 volts de corriente directa. La salida de datos del sensor se conectó al pin digital D10 para realizar la captura de temperatura a través del protocolo de comunicación 1-wire, desarrollado por el fabricante Dallas Semiconductor (W. Jingzhuo & G. Chenglong 2007). Además, se utilizaron 2 microswitch como sistema de entrada de 2 bits, para seleccionar 4 puntos de consigna del controlador difuso. Se utilizaron los pines digitales D5 y D6 para la asignación de niveles lógicos monitoreados a través del programa escrito en lenguaje Arduino, a fin de poder seleccionar: 25 °C, 36 °C, 39 °C y 43 °C como entrada de referencia para el sistema de control. La selección de las temperaturas de referencia corresponde con los estados de temperatura corporal que presenta el ser humano (H. Sattar et al. 2019; Kuht & Farmery 2018). Como salida, la tarjeta basada en Arduino Nano únicamente considera el uso del pin digital D3, el cual puede ser utilizado como salida de tipo PWM. Para el manejo de la corriente eléctrica de 2 Celdas peltier conectas en paralelo tipo Tec1-12706, se utilizó un módulo Mosfet D4184 que permite manejar cargas de hasta 36 Volts y 15 Amperes a través de una señal de tipo PWM. Como fuente externa de alimentación para los elementos termoeléctricos se utilizó una fuente conmutada de 400 Watts que provee un voltaje constante de salida de 12 volts y hasta 20 Amperes, suficientes para la alimentación del arreglo de los actuadores. Al realizar pruebas preliminares, se obtuvo con un multímetro un consumo de corriente de las celdas, alrededor de 3 Amperes. El diagrama electrónico creado en Fritzing puede observarse en la Figura 2.

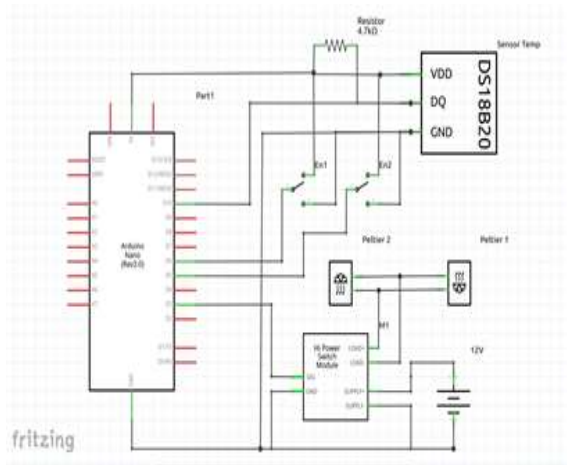


Figura 2. Diagrama electrónico del sistema.

Se utilizó el software Unity 2022.3.22 para desarrollar una aplicación de realidad virtual que muestra visualmente los estados de temperatura corporal a través de un arreglo rectangular que consta de 4 elementos cúbicos que cambian de color dependiendo de la temperatura presente en tiempo real del dispositivo de retroalimentación háptica del tipo pantalla térmica. Se añadió un script a los elementos cúbicos para habilitar la recepción de información entre la aplicación de realidad virtual en Unity y el microcontrolador a través del puerto serie. El microcontrolador envía información que permite modificar los colores de cada elemento cúbico dependiendo de la temperatura que mide el sensor en el dispositivo háptico. Cada elemento cúbico se

ilumina de un color en particular una vez que se inicia la aplicación y se habilita la transferencia de datos entre el microcontrolador y la aplicación. El primer cubo permitió definir el estado de “Hipotermia” en el ser humano, cuando la temperatura es menor o igual a 35 °C se ilumina de color azul y aparece el mensaje de la temperatura en color blanco. Cuando los cubos que representan los diferentes estados de las temperaturas corporales del ser humano están inactivos, se mantienen en color gris. A medida que se incrementa la temperatura, los siguientes cubos comienzan a iluminarse y se resalta en color blanco la temperatura en ese momento. Para un estado “Normal” el segundo cubo se ilumina en color verde y aparece el mensaje en color blanco cuando la temperatura es mayor a 35 °C y menor o igual a 37 °C, y para el tercer cubo correspondiente al estado de “Fiebre”, se ilumina de color rojo cuando la temperatura es mayor a 37 °C y menor o igual a 39 °C. Finalmente, el cubo que representa el estado de “Hiperpirexia” se ilumina en color negro cuando la temperatura es mayor o igual a 40 °C y menor o igual a 43 °C. Las distintas transiciones de colores respecto al correspondiente despliegue de información térmica se observan en la Figura 3.

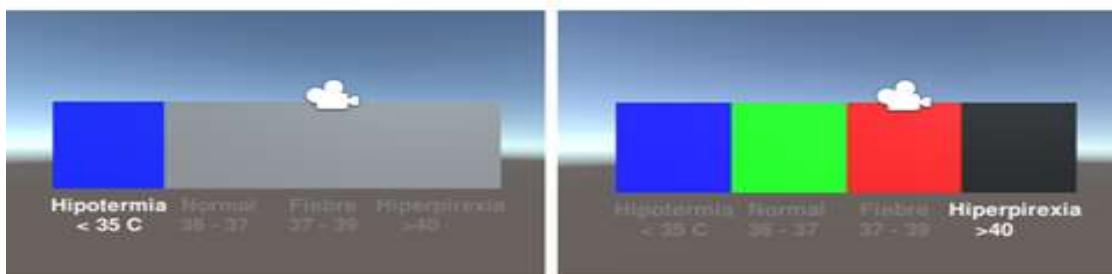


Figura 3. Aplicación de realidad virtual desarrollada en Unity.

El sistema de control difuso del tipo Sugeno, consta de una entrada denominada “Error” y una salida denominada “PWM”. Se diseñaron las funciones de membresía de la entrada de tipo triangular con el objetivo de minimizar la

variable de “Error” a fin de que, durante su operación, exista una tendencia a alcanzar el cero con respecto a la referencia de entrada. Para obtener el valor de error, se realiza la resta aritmética del punto de referencia con la

medición que realizar el sensor DS18B20 ubicado en contacto físico con la superficie exterior del tubo de cobre, cercano a la zona de contacto por el usuario. La función de membresía “muypequeño” se definió con los parámetros -1, 0 y 1. La función “pequeño” fue definida con los parámetros 0, 3 y 6. Por su parte, la función “medio” contiene los parámetros 3, 8 y 13. Además la función “grande” se definió con los parámetros 8, 15 y 22. Finalmente la función de membresía “muygrande” está definida con los parámetros 15, 25 y 35. De esta manera, el universo del discurso va de -1 a 35. La distribución de las funciones de membresía de la entrada “Error” se observa en la Figura 4.

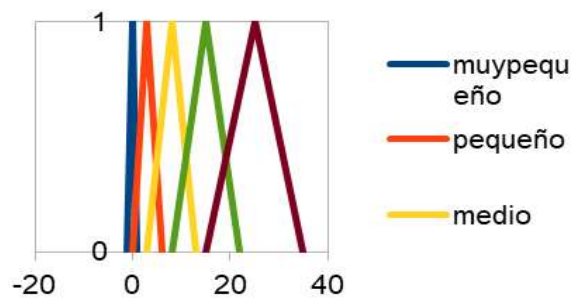


Figura 4. Descripción de las funciones de membresía de la variable de entrada “Error”.

La salida “PWM” consta de 5 constantes, definidas como “muybaja” con un parámetro de 70, una constante “baja” con un parámetro de 155, una constante “regular” con un parámetro de 195, una constante “alta” con 225; finalmente, una constante definida como “muyalta” a la que se le asignó un parámetro de 245, tal y como se observa en la Figura 5.

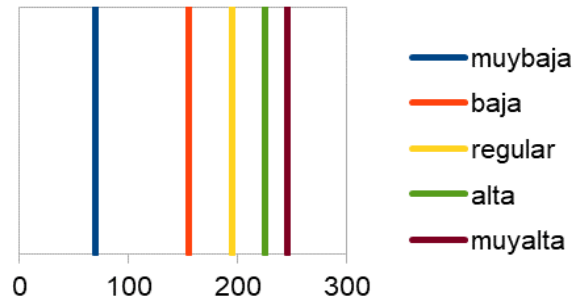


Figura 5. Descripción de las constantes de salida de la variable de salida “PWM”.

La base de reglas que permite representar el conocimiento para la toma de decisiones del controlador difuso tipo Sugeno, se implementó utilizando la estructura “Si... entonces...” tal y como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Base de reglas del controlador difuso de temperatura.

#	Regla con estructura “Si ... entonces ...”					
1.	Si	Error es	muypequeño	entonces	PWM es	muybaja
2.	Si	Error es	pequeño	entonces	PWM es	baja
3.	Si	Error es	medio	entonces	PWM es	regular
4.	Si	Error es	grande	entonces	PWM es	alta
5.	Si	Error es	muygrande	entonces	PWM es	muyalta

3. Resultados y discusión

Se implementó el sistema de control difuso tipo Sugeno a través del uso del software MATLAB, a fin de verificar el correcto funcionamiento de este. Resultó ser una importante herramienta de diseño para verificar y validar la implementación del

controlador a través del software Arduino, tal y como se observa en la Figura 6.

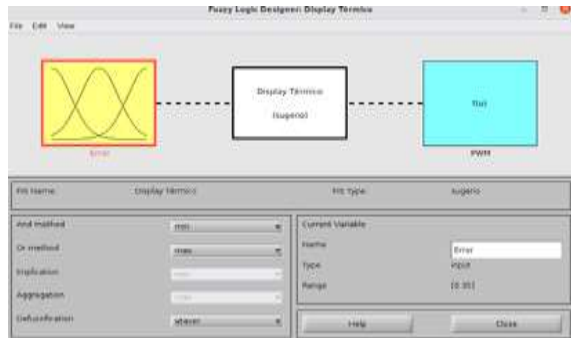


Figura 6. Implementación del sistema de control difuso tipo Sugeno en el ambiente Matlab.

La superficie de control obtenida refleja el comportamiento del sistema ante una serie de datos de entrada dentro del universo del discurso de la variable. Se observó que a medida que el error se incrementaba, existe una tendencia a incrementar el valor de la variable de salida PWM en un esfuerzo por incrementar la temperatura del sistema. Por el contrario, cuando el error se aproxima a cero, la magnitud en la variable de salida PWM llega a descender, sin llegar totalmente a 0, tal y como se observa en la superficie de control presentada en la Figura 7.

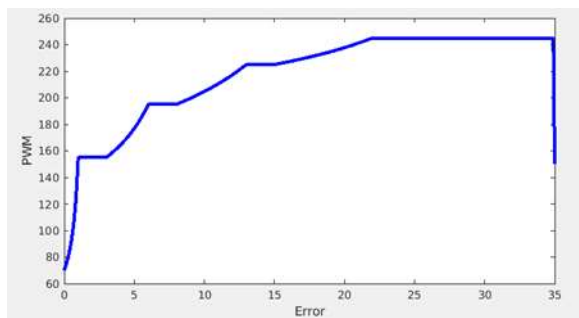


Figura 7. Superficie de control obtenida mediante el software Matlab.

El sistema de enfriamiento por agua resultó ser eficiente al lograr enfriar la superficie exterior del tubo rápidamente, alrededor de 7 minutos, por lo que el sistema regresa a su condición inicial de temperatura de operación. Al mantener la mano sujeta a la superficie de contacto durante la rápida etapa de enfriamiento con la circulación interna de agua, la drástica disminución de temperatura provocó una sensación de humedad en la

palma de la mano, en coincidencia con trabajos que han descrito tal comportamiento con anterioridad (Han et al. 2020; Peiris, Chan & Minamizawa 2018). En concordancia con la literatura, se observó que la información visual desplegada mediante distintos colores de los objetos virtuales, permitió reforzar la información térmica que se le proporciona al usuario a través de la superficie de contacto (Kim et al. 2020). Este proceso es de particular utilidad para la educación y el entrenamiento de situaciones que involucran cambios de temperatura. En general, la variable de temperatura es de una naturaleza de primer orden, con cambios paulatinos en el tiempo, por lo que es importante el desarrollo de dispositivos hápticos del tipo pantalla térmica en lugar de usar dispositivos basados en vibración (Gallo et al. 2015), los cuales en ocasiones se perciben como intrusivos, por lo que pueden desviar la atención del usuario a la situación que se le plantea en el ambiente virtual.

4. Conclusiones

Se ha diseñado e implementado un dispositivo de retroalimentación háptica en forma de pantalla térmica con fines didácticos. Se integraron elementos electrónicos de bajo costo y celdas termoelectricas como elementos actuadores de calentamiento para obtener un controlador automático. A través del diseño de un sistema difuso de tipo Sugeno se implementó una rutina en Lenguaje Arduino con el objetivo de regular las etapas de calentamiento. La curva de respuesta con el controlador difuso presentó un desempeño satisfactorio, al alcanzar cada una de las referencias previamente programadas.

Se desarrolló una aplicación de realidad virtual en Unity que permitió la visualización dinámica de un termómetro con escalas de color, a partir de la integración de objetos cúbicos ordenados en forma horizontal. El arreglo de estos permitió representar en una

escala de colores, los estados de temperatura en el cuerpo previamente asignados. Se trata de una herramienta educativa para desplegar información térmica, con potencial de ser utilizada en situaciones médicas, educativas y/o de entrenamiento, focalizada en el desarrollo de destrezas y habilidades motrices que requieran de la percepción y representación de estados térmicos en el ambiente de aprendizaje.

En el presente trabajo, a través de realidad virtual ha sido posible simular cuatro estados de temperatura corporal: hipotermia, normal, fiebre e hiperpirexia. La interacción del dispositivo háptico con la realidad virtual se refuerza la representación de los distintos estados térmicos de un ser humano, vinculando la información plenamente visual con la percepción háptica del usuario, favoreciendo el aprendizaje multisensorial. El incremento del realismo e inmersión incrementa la atención y enfoque del usuario, en el marco de la realidad extendida. A la par de su potencial educativo, esta clase de instrumentos cuenta con una perspectiva interesante de uso en personas que presentan disminución en el sentido de la vista, ya sea enviando señales de alerta o riesgo ante situaciones adversas, o como sistemas de comunicación sensorial para la transmisión y recepción de emociones y/o estados de ánimo; situaciones que se explorarán en el futuro a partir de los resultados obtenidos en este trabajo.

Otra de las perspectivas a futuro se centra en la exploración de la ilusión temperatura-humedad con realidad virtual y/o aumentada observada durante la etapa de enfriamiento. La exploración de su potencial como tecnología educativa requiere del desarrollo de prototipos como el presentado en este trabajo, que sean accesibles y adaptables para la mayor parte del sector académico interesado en la inclusión de esta forma de

experiencias en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

5. Agradecimientos

Se reconoce a CONAHCYT a través del programa “Estancias Posdoctorales por México”.

6. Referencias

1. Zhou, NN., & Deng, YL. (2009). “Virtual Reality: A State-of-the-Art Survey.” *International Journal of Automation and Computing* 6(4):319–25. doi: 10.1007/s11633-009-0319-9.
2. Carmigniani, J., & Furht, B. (2011). “Augmented reality: an overview”. *Handbook of augmented reality*, 3-46.
3. Izard, S. G., Juanes Méndez, J. A., & Palomera, P. R. (2017). “Virtual reality educational tool for human anatomy”. *Journal of medical systems*, 41, 1-6.
4. Buentello-Montoya, D. A., Lomelí-Plascencia, M. G., & Medina-Herrera, L. M. (2021). “The role of reality enhancing technologies in teaching and learning of mathematics”. *Computers & Electrical Engineering*, 94, 107287.
5. Neroni, M. A., Oti, A., & Crilly, N. (2021). “Virtual Reality design-build-test games with physics simulation: opportunities for researching design cognition”. *International Journal of Design Creativity and Innovation*, 9(3), 139-173.
6. Cheng, A., Yang, L., & Andersen, E. (2017). “Teaching language and culture with a virtual reality game”. In *Proceedings of the 2017 CHI conference on human factors in computing systems*, 541-549.
7. Collaço, E., Kira, E., Sallaberry, L. H., Queiroz, A. C., Machado, M. A., Crivello Jr, O., & Tori, R. (2021). “Immersion and haptic feedback impacts on dental anesthesia

technical skills virtual reality training”. *Journal of Dental Education*, 85(4), 589-598.

8. Sapkaroski, D., Baird, M., McNerney, J., & Dimmock, M. R. (2018). “The implementation of a haptic feedback virtual reality simulation clinic with dynamic patient interaction and communication for medical imaging students”. *Journal of medical radiation sciences*, 65(3), 218-225.

9. Richard, E., Tijou, A., Richard, P., & Ferrier, J. L. (2006). “Multi-modal virtual environments for education with haptic and olfactory feedback”. *Virtual Reality*, 10, 207-225.

10. Lontschar, S., Deegan, D., Humer, I., Pietroszek, K., & Eckhardt, C. (2020). “Analysis of haptic feedback and its influences in virtual reality learning environments”. In *2020 6th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)*, 171-177. IEEE.

11. Edwards, B. I., Bielawski, K. S., Prada, R., & Cheok, A. D. (2019). “Haptic virtual reality and immersive learning for enhanced organic chemistry instruction”. *Virtual Reality*, 23, 363-373.

12. Grajewski, D., Górski, F., Hamrol, A., & Zawadzki, P. (2015). “Immersive and haptic educational simulations of assembly workplace conditions”. *Procedia Computer Science*, 75, 359-368.

13. Noghabaei, M., & Han, K. (2021). “Object manipulation in immersive virtual environments: Hand Motion tracking technology and snap-to-fit function”. *Automation in Construction*, 124, 103594.

14. Motaharif, M., Norouzzadeh, A., Abdi, P., Iranfar, A., Lotfi, F., Moshiri, B., ... & Taghirad, H. D. (2021). “Applications of haptic technology, virtual reality, and artificial intelligence in medical training during the COVID-19 pandemic”. *Frontiers in Robotics and AI*, 8, 612949.

15. Sanfilippo, F., Blazauskas, T., Salvietti, G., Ramos, I., Vert, S., Radianti, J., ... & Oliveira, D. (2022). “A perspective review on integrating VR/AR with haptics into STEM education for multi-sensory learning”. *Robotics*, 11(2), 41.

16. Gallo, S., Rognini, G., Santos-Carreras, L., Vouga, T., Blanke, O., & Bleuler, H. (2015). “Encoded and crossmodal thermal stimulation through a fingertip-sized haptic display”. *Frontiers in Robotics and AI*, 2, 25.

17. Kim, S. W., Kim, S. H., Kim, C. S., Yi, K., Kim, J. S., Cho, B. J., & Cha, Y. (2020). “Thermal display glove for interacting with virtual reality”. *Scientific reports*, 10(1), 11403.

18. Hirai, S., & Miki, N. (2019). “A thermal tactile sensation display with controllable thermal conductivity”. *Micromachines*, 10(6), 359.

19. Carnahan, H., Dubrowski, A., & Grierson, L. E. (2010). “Temperature influences both haptic perception and force production when grasping”. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(1), 55-58.

20. Kuhtz-Buschbeck, J. P., & Hagenkamp, J. (2020). “Cold and heavy: grasping the temperature-weight illusion”. *Experimental brain research*, 238, 1107-1117.

21. Ho, H. N., Chow, H. M., Tsunokake, S., & Roseboom, W. (2019). “Thermal-tactile integration in object temperature perception”. *IEEE transactions on haptics*, 12(4), 594-603.

22. Trojan, J., Fuchs, X., Speth, S. L., & Diers, M. (2018). “The rubber hand illusion induced by visual-thermal stimulation”. *Scientific reports*, 8(1), 12417.

23. Ho, H. N., Iwai, D., Yoshikawa, Y., Watanabe, J., & Nishida, S. Y. (2014). "Combining colour and temperature: A blue object is more likely to be judged as warm than a red object". *Scientific reports*, 4(1), 5527.
24. Gil, J. J., Diaz, I., Justo, X., & Ciáurriz, P. (2014). "Educational haptic controller based on Arduino platform". In *2014 XI Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (Technologies Applied to Electronics Teaching) (TAE)*, 1-7. IEEE.
25. Sanfilippo, F., & Pettersen, K. Y. (2015). "A sensor fusion wearable health-monitoring system with haptic feedback". In *2015 11th International conference on innovations in information technology (IIT)*, 262-266. IEEE.
26. Lira-Cortés, L., González Rodríguez, O. J., & Méndez-Lango, E. (2008). "Sistema de medición de la conductividad térmica de materiales sólidos conductores, diseño y construcción". In *Simposio de Metrología Santiago de Querétaro: Querétaro, Mexico*.
27. Jingzhuo, W., & Chenglong, G. (2007). "Research on 1-wire bus temperature monitoring system". In *2007 8th international conference on electronic measurement and instruments*, 3-722. IEEE.
28. Sattar, H., Bajwa, I. S., Amin, R. U., Sarwar, N., Jamil, N., Malik, M. A., ... & Shafi, U. (2019). "An IoT-based intelligent wound monitoring system". *IEEE Access*, 7, 144500-144515.
29. Campbell, I. (2008). "Body temperature and its regulation". *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 9(6), 259-263.
30. Han, T., Wang, S., Wang, S., Fan, X., Liu, J., Tian, F., & Fan, M. (2020). "Mouillé: Exploring wetness illusion on fingertips to enhance immersive experience in vr". In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-10.
31. Peiris, R. L., Chan, L., & Minamizawa, K. (2018). "LiquidReality: wetness sensations on the face for virtual reality". In *Haptics: Science, Technology, and Applications: 11th International Conference, EuroHaptics 2018, Pisa, Italy, June 13-16, 2018, Proceedings, Part II 11*, 366-378. Springer International Publishing.



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

GTAW Butt Welded 6061-T6 Aluminum: Post-process Heat Treatment Effect on Mechanical and Microstructural Features

Aluminio 6061-T6 soldado a tope mediante GTAW: Efecto del Tratamiento Térmico Posterior al Proceso sobre las Características Mecánicas y Microestructurales

Salgado-López, J.M.^a, Cruz-González, C.E.^a, Tello-Rico, M.^a, León-Méndez, I.^a, Guzmán-Flores, I.^b, Granda-Gutiérrez, E.E.^{c*}

^a Dirección de Ingeniería de Manufactura, Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial; C.P. 76125, Santiago de Querétaro, Querétaro.

^b Facultad de Sistemas, Universidad Autónoma de Coahuila; C.P. 25350, Arteaga, Coahuila.

^c Centro Universitario UAEM Atlacomulco, Universidad Autónoma del Estado de México; C.P. 50000, Toluca, Estado de México.

msalgado@cidesi.edu.mx; ecruz@cidesi.edu.mx; soldadura@cidesi.edu.mx; ivan.leon@cidesi.edu.mx;
isidroguzman@uadec.edu.mx; cegrandag@uaemex.mx*

Technological innovation: In the field of welding of aluminum alloys, focusing on the exhaustive analysis of the mechanical and microstructural properties of the welded joints of 6061-T6 aluminum using the (GTAW) process, affected by temperature and different subsequent thermal treatments to welding.

Industrial application area: Mechanical and metallurgical industry.

Received: november 27th, 2023

Accepted: april 02th, 2024

Resumen

La soldadura de aluminio sigue siendo un área importante de investigación, impulsada por desafíos actuales, como la reducción observada en las propiedades mecánicas después del proceso de unión, comúnmente conocida como ablandamiento. En particular, existe información limitada sobre el impacto de los tratamientos térmicos en las propiedades mecánicas de las uniones en la aleación AA6061. Este estudio aborda esta brecha presentando las propiedades mecánicas en las uniones de esta aleación en tres condiciones distintas: una en su estado soldado y dos sometidas a diferentes tratamientos térmicos posteriores. Los hallazgos revelan que los parámetros del proceso de unión, los defectos, y el tratamiento térmico aplicado influyen en la eficiencia de las juntas. Principalmente, los tratamientos térmicos posteriores ejercen un impacto sustancial en la

microestructura y las propiedades mecánicas finales de la soldadura. El tratamiento de solubilizado disuelve eficazmente los precipitados en la microestructura, mientras que el tratamiento de envejecimiento restaura con éxito las propiedades mecánicas, debido al endurecimiento por precipitación. Sin embargo, es crucial tener en cuenta que los defectos en la unión juegan un papel fundamental en la determinación de las propiedades mecánicas finales y la ubicación de las grietas después de la fractura. Adicionalmente, se estudia la resistencia mecánica de la unión en pruebas de tensión a temperaturas distintas, encontrándose que este parámetro alcanza su punto máximo a bajas temperaturas y disminuye al aumentar la temperatura. Por el contrario, el alargamiento es más significativo a temperaturas elevadas pero reducido a temperaturas más bajas. Este análisis integral aborda la interacción entre las condiciones de soldadura, los tratamientos térmicos y los cambios microestructurales, proporcionando información valiosa para mejorar el proceso de unión e incrementar el rendimiento mecánico en juntas de aluminio AA6061-T6.

Palabras clave: Aleaciones de aluminio, Soldadura, Tratamiento térmico, Propiedades mecánicas, Microestructura.

Abstract

Welding of aluminum remains an important area of research, driven by current challenges, such as the observed reduction in mechanical properties after the joining process, commonly referred to as softening. Particularly, there is limited information on the impact of heat treatments on the mechanical properties of joints in AA6061 alloy. This study addresses this gap by presenting mechanical properties of AA6061 joints under three distinct conditions: one in its welded state and two subjected to different subsequent heat treatments. Findings reveal that joining process parameters, defects, and applied heat treatment influence joint efficiency. Primarily, subsequent heat treatments substantially impact the microstructure and final mechanical properties of the weld. Solubilizing heat treatment effectively dissolves precipitates in the microstructure, while aging treatment successfully restores mechanical properties due to precipitation hardening. However, it is crucial to note that joint defects play a key role in determining final mechanical properties and crack location post-fracture. Additionally, the mechanical strength of the joint is studied in tensile tests at different temperatures, finding that this parameter reaches its maximum value at low temperatures and decreases with increasing temperature. In contrast, elongation is more significant at higher temperatures, but reduced at lower temperatures. This comprehensive analysis addresses the interaction between welding conditions, heat treatments, and microstructural changes, providing valuable information for improving the joining process and enhancing mechanical performance in AA6061-T6 aluminum joints.

Keywords: Aluminum alloys, Welding, Heat treatment, Mechanical properties, Microstructure.

1. Introduction

The use of aluminum alloys in structural applications has significantly increased in recent years due to their advantageous properties^{1,2}. Welding emerges as the primary

joining process for such materials, with Gas Metal Arc Welding (GMAW) and Tungsten Metal Arc Welding (GTAW) widely employed in the industry. Consequently, the

guidelines for aluminum structural welding are outlined in the AWS D1.2 welding code³.

However, welding aluminum alloys is challenging, primarily because of the high reactivity of aluminum. Overcoming issues such as porosity, cracking, shrinkages, softening, and the formation of a large heat-affected zone (HAZ) poses difficulties, a problem encountered in both conventional processes (GTAW and GMAW) and newer techniques like laser beam welding and cold metal transfer. Post-welding heat treatments present a viable avenue for mitigating the impact of these defects, making them a focal point of current research.

Numerous researchers have studied the relationship between aluminum welding processes and the resulting mechanical properties⁴. For instance, Ramaswamy et al.⁵ explored the effects of post-weld heat treatment on the tensile properties of cold metal arc welded AA 6061-T6 aluminum joints, revealing a 10% increase in tensile strength after treatment. Rathinasuriyan et al.⁶ compared the mechanical and metallurgical properties of GTAW, GMAW, and FSW (Friction Stir Welding) lap joints on AA6061-T6 alloy, establishing correlations between properties and welding parameters. Guzman et al.⁷ examined the tensile and fracture behavior in 6061-T6 and 6061-T4 aluminum alloys welded by pulsed metal transfer GMAW, highlighting the impact of welding defects on the final mechanical properties.

In addition, Rodriguez-Hernandez et al.⁸ investigated the microstructure and mechanical properties of GTAW-GMAW hybrid welding of AA 6061-T6 Aluminum alloy, noting a reduction in final mechanical strength after artificial aging. Soundararajan et al.⁹ explored the enhancement of tensile strength in AA 6061-T6 plates joined by gas

tungsten arc welding using a high entropy alloy filler metal.

In the case of 6061 aluminum alloys, the softening of the base material during the welding process is the most common reason for failing to achieve the minimum tensile properties requirement of a weld made with this base material without significant discontinuities. For instance, the 6061-T6 base material has a typical tensile strength of 310 MPa before welding, but the AWS D1.2 requires a minimum tensile strength of 165 MPa³. If inappropriate parameters are used during the joining process, the excessive softening of the weld could reduce the tensile strength below the required minimum.

The softening after aluminum welding is caused by the welding heat input, which results in metallurgical changes in the base material. Thus, to reach the minimum tensile strength requirements of the code, the welding procedure must be closely controlled to prevent overheating of the base material or to apply a post-welding heat treatment that restores the mechanical properties¹⁰.

Despite the extensive literature on aluminum welding, there is a lack of information on AA6061 weldments subjected to different post-welding heat treatments and their effect on tensile strength. This is particularly relevant considering the prevalent use of single-pass butt joints in aluminum welding applications. Consequently, this study aims to comprehensively analyze the mechanical properties, fracture surfaces, microhardness profiles, and microstructure of AA 6061-T6 welded joints, with and without one of two post-welding heat treatments applied: a cryogenic treatment and a weld followed by aging. The findings could improve the applications of this type of aluminum alloy.

2. Experimental methods

2.1. Manufacturing of test samples

To achieve the objectives of this study, welding test coupons were fabricated using 6061-T6 aluminum alloy, measuring 30 mm x 30 mm in length and width, respectively, and 6 mm in thickness, as illustrated in Figure 1.

Manual GTAW equipment was employed to weld the test coupons, utilizing a 3mm 5053 filler metal and a 3-mm diameter EWLa-1.5 electrode. Process conditions included a welding current of 250 A, voltage of 15 V, and preheating at 160 °C for both the initial and subsequent welding. The welding parameters were in accordance with the specifications in the AWS D1.2 code and guidelines for filler metals. Due to the manual welding of AA6061-T6 coupons, precise measurement of welding speed was not possible. As an approximation, utilizing the AWS equation for heat input^{2,3} and assuming a travel speed of 25 mm/min, the calculated heat input was 9 kJ/mm. However, considering the thermal efficiency of 0.6 for GTAW, the adjusted heat input was 5.4 kJ/mm.

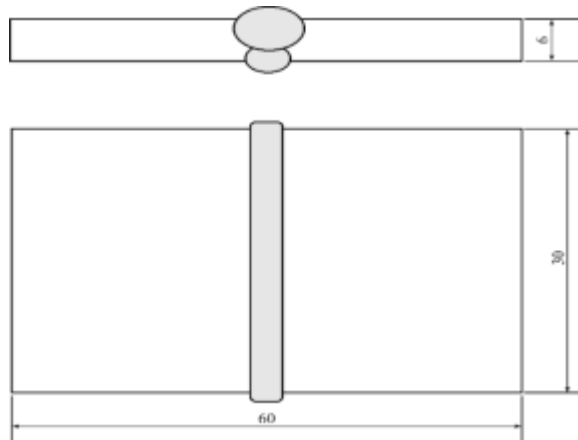


Figure 1. Test coupons for the welding process.

Three distinct conditions were selected to assess the mechanical properties of the welded joints, which were labeled as follows:

1. AW for weld coupons without subsequent heat treatment.

2. CR for weld samples with a cryogenic treatment. The CR treatment involved heating the welded coupons to 180 °C in an atmospheric furnace for 12 hours, followed by air cooling and immersion in a liquid nitrogen bath at -185 °C for 15 minutes.
3. HT for welded coupons with a dissolution heat treatment followed by aging. The HT treatment comprised a dissolution at 530 °C for 1 hour in a vacuum furnace at a pressure of 10^{-3} MPa, followed by quenching in nitrogen gas at 0.5 MPa (5 bar) in the furnace. Subsequently, the test coupon was reheated to 180 °C for 6 hours and then cooled in nitrogen inside the furnace.

2.2 Mechanical testing

To determine the mechanical properties of each metallurgical condition (AW, CR, and HT) and to calculate joint performance, ASTM E8¹¹ compliant undersized test specimens were precision-manufactured using a VF2 HASS® machine. Subsequently, these specimens underwent testing using an INSTRON® 100 kN AGX-V universal testing machine equipped with knurled grips.

The tensile strength tests were conducted at different temperatures. They were set at -20 °C for low-temperature specimens (designated as “Lt”), 25 °C for room temperature specimens (referred to as “Rt”), and 90 °C for high-temperature samples (referred to as “Ht”). The Lt and Ht specimens were conditioned in the TCE-N300 chamber for 30 minutes at their respective temperatures. In contrast, the Rt specimens were directly mounted between machine grips for testing.

To determine tensile properties, the testing protocol involved a speed of 5 MPa/min (for yield) and 5 mm/min. The yield strength at 0.2% and stress-strain diagrams were derived

using a 25 mm length ST Epsilon clip extensometer. The resulting mechanical properties of the Rt, Lt, and Ht samples subjected to post-welding heat treatments were systematically compared against the mechanical properties of the AW specimens.

The microhardness profile illustrates the distribution of hardness across the weldment. For this study, the microhardness profile of each condition was determined using a TUKON 1202 microhardness tester, employing a 100 g load for a dwell time of 10 seconds. This testing methodology allows for precise hardness measurements at various points within the weld, providing valuable data on the material's hardness characteristics and potential variations across different metallurgical conditions.

2.3 Metallographic and SEM evaluation

For metallography, a representative sample from each condition was extracted by a cross-section of the welded joint in one specimen per condition. The test specimens, measuring 2mm×1mm×6mm, were prepared according to ASTM E3¹². Subsequently, the specimens underwent sequential grinding using 320 to 1200-grit sandpaper and polishing with 1-micron diamond paste. The microstructure of the test samples was then etched using Keller's reagent.

Macrostructures were observed using a Leica stereographic microscope, while microstructures were examined using a Nikon Epihot 440 microscope, complemented by image analysis software. Elemental chemical microanalysis was conducted using a scanning electron microscope, specifically the JEOL JSM 6610LV (SEM), coupled with an Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) microanalysis probe. This comprehensive approach allowed for a thorough examination of the macro and microstructural features of

the weldments, providing a valuable understanding of their composition and characteristics.

The fracture surface of representative test samples from each tensile-tested condition (AW, CR, and HT) was examined using a JEOL JSM-6610LV scanning electron microscope (SEM). The SEM images were captured at 350X magnification, utilizing secondary electrons, with an operating voltage of 15 kV and a working distance of 10 mm. This analytical approach provides detailed insight into the morphology and characteristics of the fracture surfaces under different metallurgical conditions, aiding in the comprehensive understanding of the material's behavior under tensile loading.

3. Results

3.1. Mechanical properties at -20 °C, 25 °C and 90 °C

The results of the tensile tests conducted at different temperatures are presented in Table 1. Analysis of the as-welded (AW) samples indicated a negligible variability in tensile strength between room temperature (Rt) and high temperature (Ht), with a slight reduction in yield strength observed for low temperature (Lt) conditions. In contrast, the cryogenically treated (CR) sample results exhibited the highest tensile strength at -20 °C, surpassing the Rt specimens by 8 MPa, and the lowest tensile strength at 90 °C, showing a 9 MPa decrease compared to Rt specimens. A similar trend in yield strength of 0.2% yield stress was observed for CR samples.

The results from the heat-treated (HT) specimens showed a minimal variation in the tensile strength values at 25 °C, with a slight decrease of 3 MPa at 90 °C. However, the yield strength exhibited the lowest variation (1 MPa) at -20 and 90 °C, with the weakest strength observed at 25 °C. AW specimens

and most of the CR test specimens experienced fractures within the heat-affected zone (HAZ), whereas HT specimens fractured within the weld metal. Additionally, all three sets of test specimens exhibited substantial plastic deformation indicative of a ductile fracture¹³.

Table 1 illustrates the differences in elongation among the three sets of test specimens (AW, CR, and HT). The elongation is most significant for all specimens at Ht. However, the difference in elongation at Lt or Rt is minimal, influenced by welding defects that impacted the overall mechanical behavior of the samples.

Tensile testing of the base metal at 25 °C for the 6061-T6 alloy exhibited a tensile strength of 322 MPa, a 0.2% yield stress of 277 MPa, an elastic modulus of 67 GPa, and an elongation of 22%. Conversely, testing at high temperatures (Ht, 90 °C) revealed a tensile strength of 298 MPa, a 0.2% yield stress of 274 MPa, and an elongation of 32%. At low temperatures (Lt, -20 °C), the base metal specimens displayed a tensile strength of 320 MPa, a 0.2% yield stress of 283 MPa, and an elongation of 23%. These results are in line with the data reported in technical literature¹⁴.

Table 1. Average test results for ultimate tensile strength, elongation yield stress, and elastic modulus.

<i>Heat treatment</i>	<i>Testing temperature (°C)</i>	<i>Ultimate Tensile strength (MPa)</i>	<i>0.2% yield stress (MPa)</i>	<i>Elastic modulus (GPa)</i>	<i>Elongation (%)</i>	<i>Fracture location/weld defect detected by the naked eye</i>
<i>AW</i>	-20	165±1.0	85±5.9	68±2.7	9.71±2.72	HAZ/ one in weld metal with lack of fusion
	25	165±0.5	92±0.5	66±4.7	13.1±	HAZ / not defect detected
	90	166±0.5	93±1.5	61±0.2	15.12±2.2	HAZ/ not defect detected
<i>CR</i>	-20	170±0.1	117±7.9	67±0.9	4.45±1.83	HAZ/ not defect detected
	25	162±0.5	112±15.4	61±5.9	4.39±2.6	HAZ/ not defect detected
	90	153±1.5	106±14.0	63±0.2	13.65±0.5	Weld metal and HAZ / lack of fusion on weld metal of one specimen
<i>HT</i>	-20	247±0.5	134±6.0	65±0.3	7.65±0.5	Weld metal/pores
	25	247±9.0	129±5.2	61±0.7	9.36±5.3	Weld metal/pores
	90	244±0.7	133±14.0	63±0.7	27.5±5.1	Weld metal/ pores

The joint efficiency for the as-welded (AW) test specimens was determined to be 51% of the base metal tensile strength. In the case of cryogenically treated (CR) samples, a joint efficiency of 53% was observed at -20 °C, while 50% was measured at room temperature (Rt) and 47% at high temperature (Ht). Notably, for heat-treated (HT) test samples, there was a significant increase in joint efficiency, reaching 76%. It is essential to highlight that, except for the CR sample at 25 °C, all test specimens met the

specifications outlined in the AWS D1.2³ welding code for aluminum alloys.

Figure 2 illustrates the profiles of micro-Vickers hardness, showing distinct trends among the as-welded (AW), cryogenically treated (CR), and heat-treated (HT) samples. AW and CR samples' micro-Vickers hardness profiles exhibit similarities but diverge notably in the base metal. Sample AW present an average of 55 HV on the base metal, while sample CR exhibits an average of 66 HV in

the same zone. Conversely, the HT sample demonstrates the highest hardness values, reaching approximately 115 HV on the heat-

affected zone (HAZ) and 100 HV on the base metal.

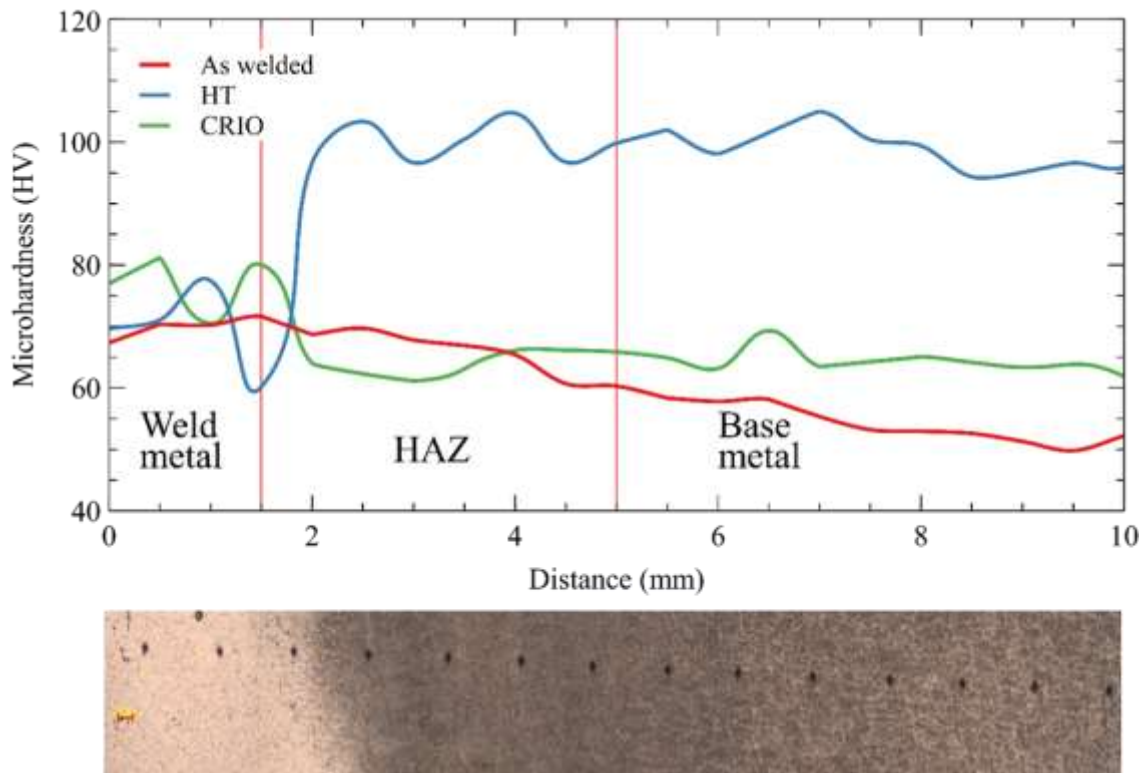


Figure 2. Microhardness profile of the tested samples (100X magnification).

It is important to note that both HT and CR samples exhibit scattered hardness values, whereas the base metal follows a smoother trend. Remarkably, the HAZ boasts Vickers Hardness values around 115 HV for the HT sample, representing a notable 12% increase compared to the base metal of the same sample. This observation emphasizes the impact of different treatments on the microhardness distribution, indicating the variations in material properties across the weld. The variations in microhardness are attributed to microstructural changes. In welding, there is a dendritic solidification structure characterized by lower hardness, while in the diffusion-affected zone, there is grain fracture or breakage. Additionally, as one progresses from the diffusion zone to the base metal, although not explicitly investigated in this study, there is always a

grain size transformation. In both the diffusion zone and the heat-affected zone, there is phase dissolution and precipitation of other phases, such as the β phase, also known as the hardening phase, characteristic of this type of alloy.

3.2. Macrostructure and Microstructure Analysis

As a reference, the macrostructure examination of the base metal (prior welding) revealed a banded material with no detectable evidence of defects, as depicted in Figure 3.



Figure 3. Macrograph of the base metal at 10X.

Figures 4a-c offer a detailed examination of the macrostructure at 20X magnification under each test condition (AW, CR, and HT) after welding and the subsequent heat treatment (see section 2.1). The macrographs show the presence of minor pores within the weld metal. However, no indications of cracking in the Heat Affected Zone or other defects near the weld zone (such as incomplete fusion, excessive porosity, or cavities), nor in the metal base (such as cracks, overheating, or excessive penetration), were observed.

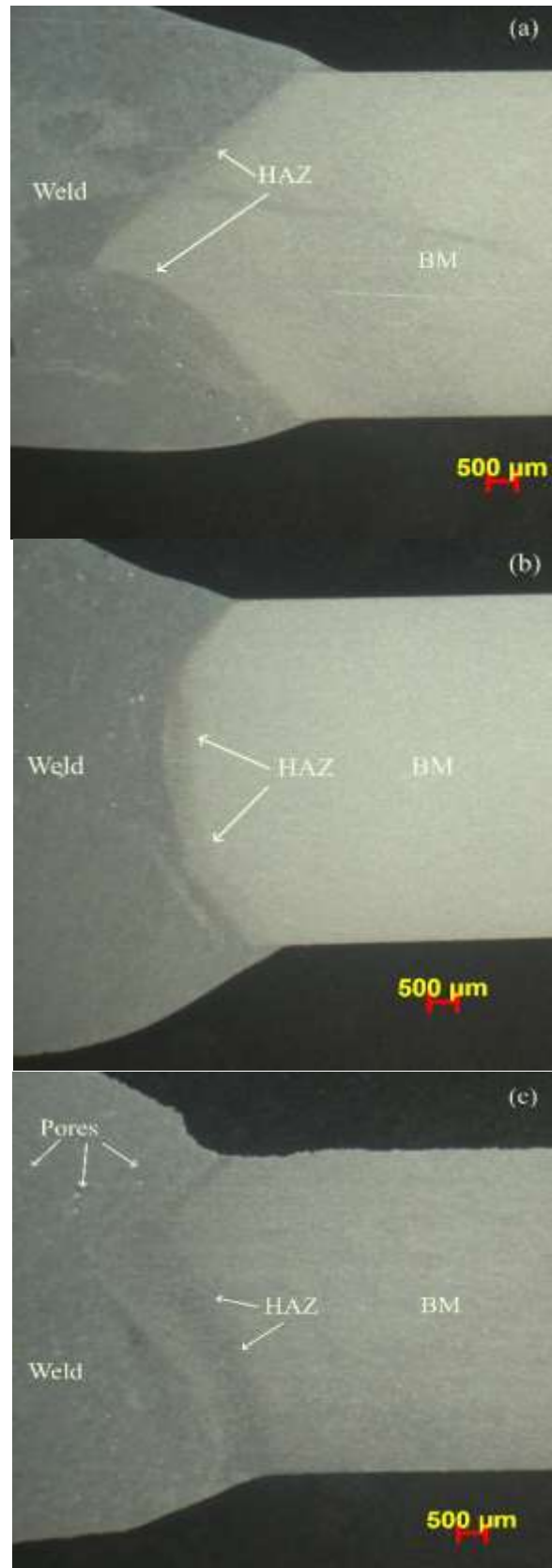


Figure 4. Macrographs at 20X magnification for the AW (a), CR (b), and HT(c) conditions.

In Figure 5, the microstructure of the base metal at 200x is presented, revealing fine phases within the grains and coarser phases along the grain boundaries. This microstructure matches with the well-documented microstructure of AA6061-T6^{1,2}.

Figure 6, illustrates the 200X microstructure of the welded joint in the as-welded (AW) condition. Dendrites are observed in the weld metal, along with coarse precipitates in the HAZ and elongated fine grains with precipitates in the base metal. As reported in the literature, the precipitates of Mg_2Si and $FeSiAl$ in the HAZ of AA6061 were confirmed through EDS microanalysis, in line with existing information⁵⁻⁷.

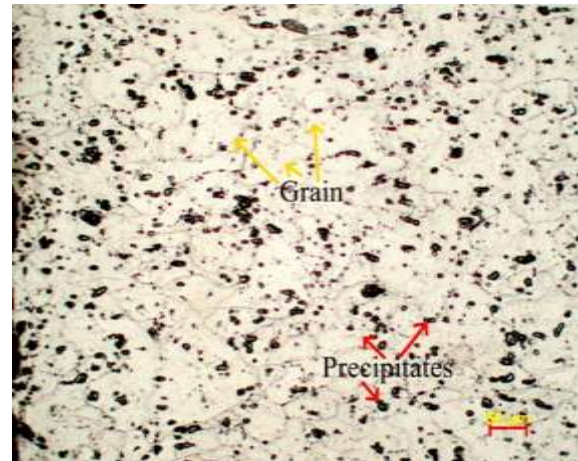


Figure 5. Microstructure at 200X of the base metal, showing Mg_2Si precipitates (red arrows) and fine elongated grains (yellow arrows).

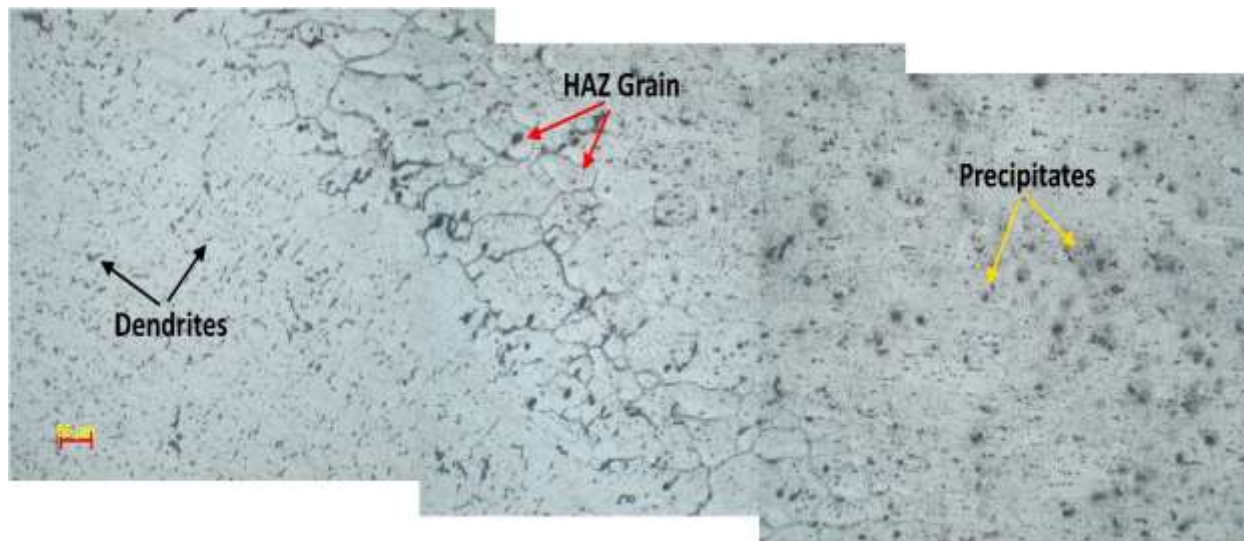


Figure 6. Microstructure at 200x of the AW sample. This is a mapping of the weld region showing Dendrites (black arrows) in the weld zone, elongated grains (red arrows) in the HAZ, and coarse precipitates (yellow arrows) in the base metal near the HAZ.

Figure 7 shows the microstructure at 200X of the weld joint in the cryogenically treated (CR) condition, with dendrites in the weld metal and coarse precipitates in the HAZ and base metal. Similarly, Figure 8 exhibits the

microstructure at 200X of the weld joint in the heat-treated (HT) condition, with dendrites in the weld metal and fine precipitates in the HAZ and base metal.

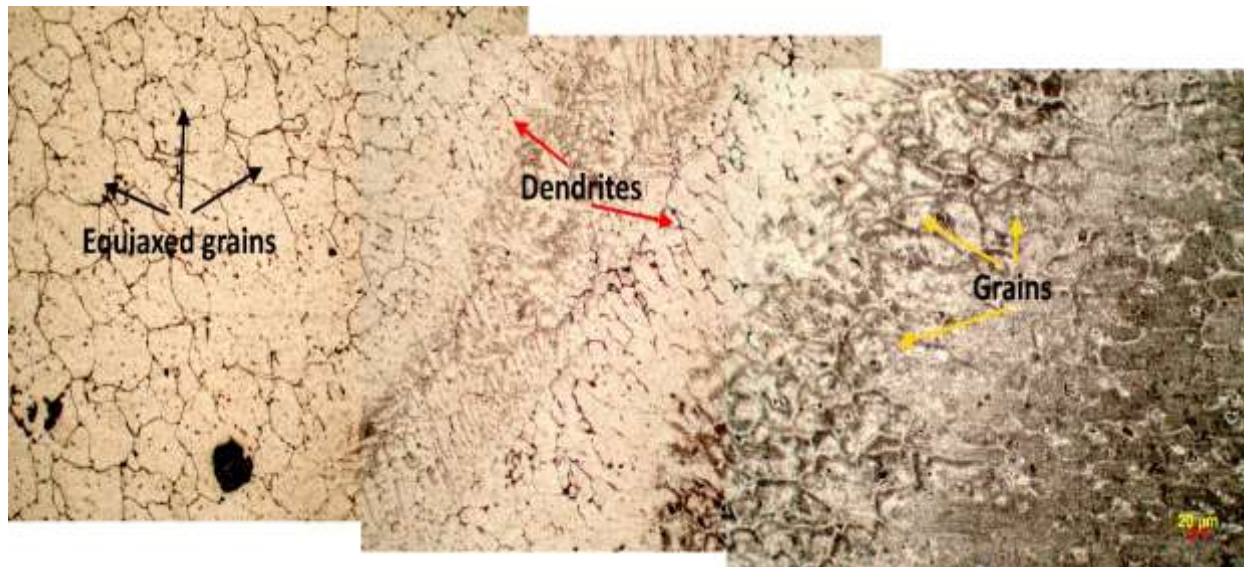


Figure 7. Microstructure at 200X of the CR sample. The micrograph shows elongated equiaxed grains (black arrows) in the HAZ, Dendrites (red arrows) in the weld metal, and grains in the base metal (yellow arrows).

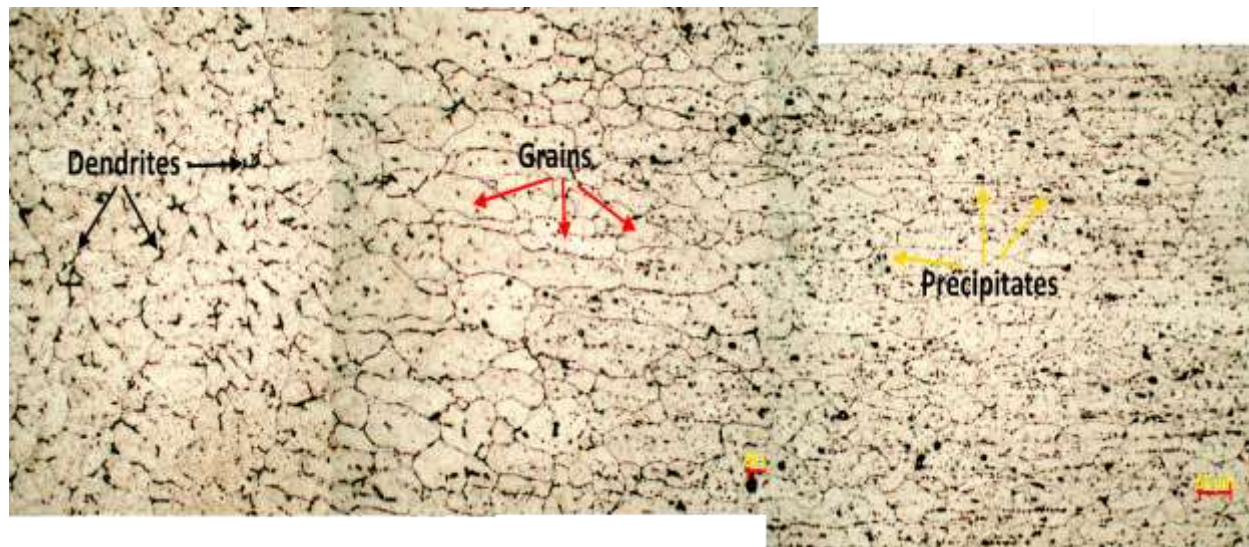


Figure 8. Microstructure at 200X of the HT sample. The micrograph shows Dendrites (black arrows) in the weld metal, elongated grains of Al (red arrows) in the HAZ, and coarse precipitates in the base metal (yellow arrows).

Figure 9 shows the microstructure in the HAZ, where EDS microanalysis was conducted. The results indicated that the precipitates were composed of Al, Fe, Si, and Mg. This finding is in agreement with

published reports on Mg_2Si and FeSiAl precipitates in AA6061-T6⁵⁻⁷, reinforcing the consistency of the microstructure with documented cases.

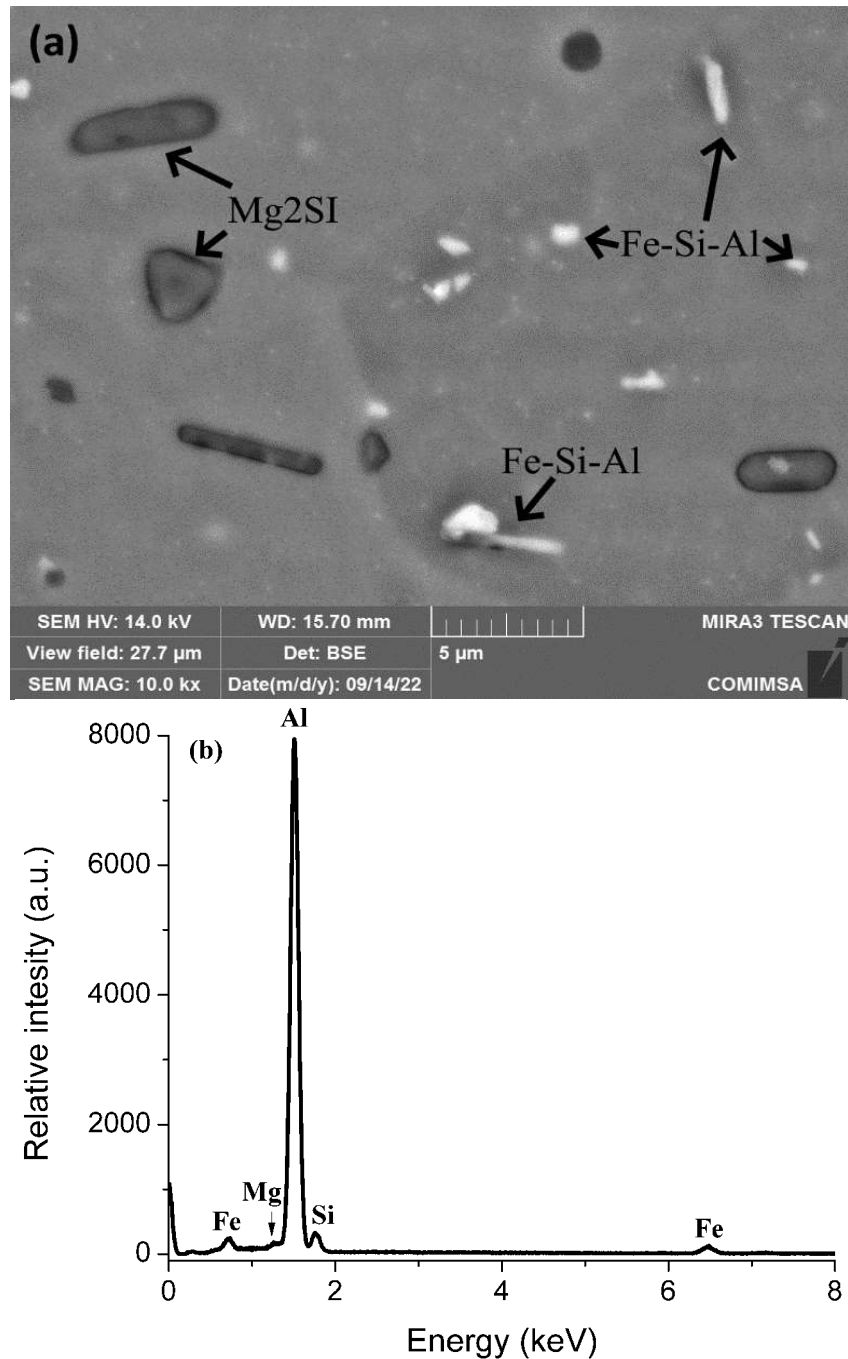


Figure 9. (a) SEM image using retro dispersive electrons shows precipitates in the base metal. (b) EDS pattern presents the microanalysis results exhibiting the precursor elements (Al, Fe, Si, Mg).

3.3 Fractographic observations

Fractographic examinations were conducted on the fracture surfaces of one specimen from each condition after tensile testing. The results consistently revealed a fracture pattern characterized by equiaxial dimples at the center of the specimens and shear dimples at

the edges (Figures 10 a-d). These observations indicated a ductile fracture in all specimens. The location of the crack after the tensile test coincided with this pattern, occurring at the end of the HAZ.

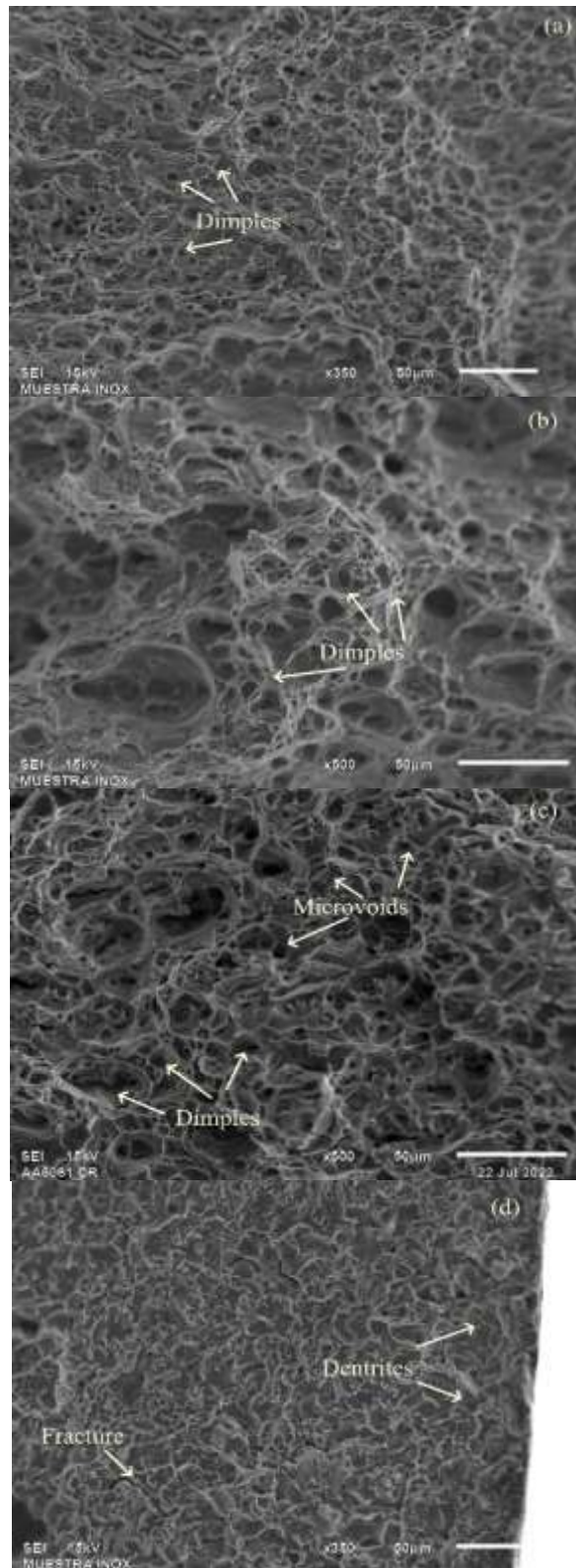


Figure 10. Examples of the fracture patterns of the room temperature tensile tested samples: (a) base metal, (b) “As welded” sample, (c) CT sample, and (d) HT sample.

However, the fractographic analysis of the heat-treated (HT) samples, as shown in Figure 10(d), demonstrated evidence of dimples, dendrites, and scattered porosity, particularly in the weld metal. This indicated the specific location of the crack in the HT sample within the weld metal.

Figure 11 presents the fracture pattern of the cryogenically treated (CR) sample at a high temperature (Ht, 90 °C), revealing a lack of fusion and tensile dimples. While the dimples suggested a ductile fracture in tensile mode, the lack of fusion is a welding defect with a significant impact on the mechanical properties. These fractographic features corresponded with the location of the crack reported in Table 1.

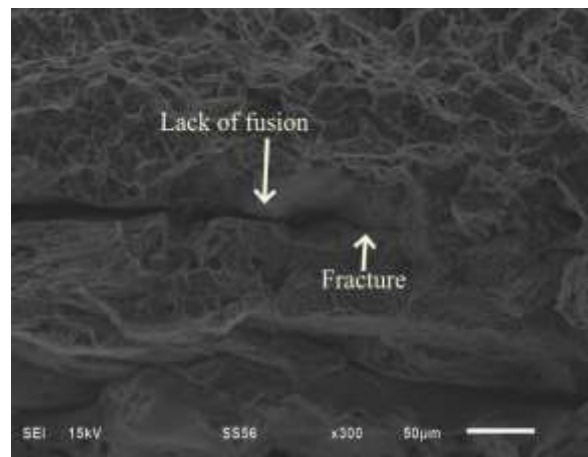


Figure 11. The fracture pattern of the tensile tested CR—Ht sample that failed in the weld metal. The fracture surface has dimples and no fusion.

Furthermore, the cracks were consistently located in the HAZ in the case of as-welded (AW) and cryogenically treated (CR) specimens. In contrast, for the heat-treated (HT) samples, cracks were identified in the weld metal, specifically in areas where welding defects such as pores were observed. This observation underscores the significant influence of post-welding heat treatment and welding defects on the mechanical properties of the specimens.

The evidence supporting this assertion is reinforced by instances where some AW and CR samples, exhibiting a visible lack of fusion, experienced cracking in the weld metal. Figures 10(a), 10(b) and 11 show several examples of the fracture patterns of these samples. These images illustrate the relationship between welding defects, heat treatment, and the resultant mechanical behavior.

Finally, Figure 12 displays the fracture pattern of the heat-treated (HT) sample at low temperature (Lt, -20 °C), exhibiting a lack of fusion and tensile dimples. Once again, these findings correlate with the location of the crack reported in Table 1.

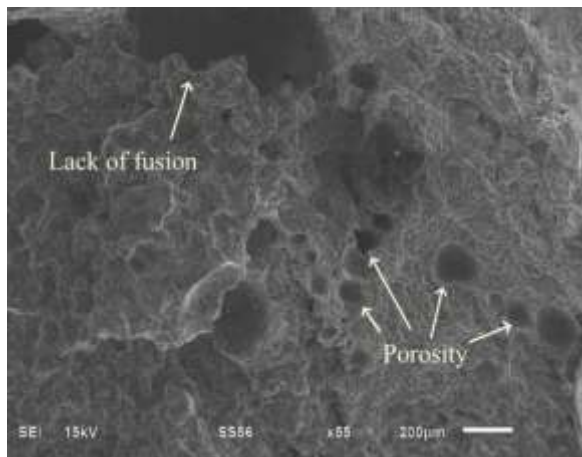


Figure 12. Fracture patterns of HT – Lt tensile sample that failed in the weld metal. There are dimples, alienated porosity, and a lack of fusion.

4. Discussion

Mechanical testing results for the 6061-T6 aluminum alloy indicated that all specimens met the minimum tensile strength requirements of AWS D1.23 except for the Rt-CR test specimens. Notably, the AW and HT test samples exhibited lower variability in tensile and yield strength across the test temperature range. In contrast, the CR test samples displayed a pronounced trend with temperature, showing a higher strength at low temperatures and a decrease as temperature increased^{14,15}. This trend, however, was not

consistently observed in other test results, except for the Ht (90 °C) specimens, where a decline in properties was noted. The reduction in the tensile strength for this specific condition was attributed to the presence of Al-Fe-Si precipitates in the microstructure, welding defects (mainly porosity and lack of fusion), and the FCC nature of aluminum alloys, which do not exhibit the ductile-to-brittle transition observed in BCC alloys such as steel¹⁶.

The mechanical property variations were found to be dependent on the homogeneity of the test material, the sampling scheme, and other sources of variation¹⁷. The extensive microstructural changes induced by welding, coupled with welding defects like porosity or lack of fusion, significantly impacted the homogeneity of microstructural, micro, and macro mechanical properties^{18,19}.

The Vickers hardness testing revealed similar results for AW and CR test samples, with a more significant spreading in their weld metal and HAZ zone values compared to AW test results (see Figure 2). In contrast, the HT test specimens exhibited lower values in the weld metal (an average of 70 HV), while the values in the base metal and HAZ were close to those obtained in the base metal before welding (a mean of 100 HV).

As inferred from the mechanical testing results, joint efficiency depended on welding parameters, welding defects, and post-weld treatment^{7,20}. Metallurgical changes induced by heat distribution during welding, welding-induced distortion, and residual stresses were identified as influencing factors, emphasizing the importance of post-weld heat treatment to mitigate these effects^{21,22}.

The observation of the base metal's macrostructure (see Figure 4) revealed a banded material with elongated grains of Al solid solution and precipitates with no

identified defects (i.e., cracks, incomplete or excessive fusion, cavities, etc.). The precipitates are constituted of Mg_2Si and $Al-Fe-Si$, consistent with the macroscopic results for the studied alloy²³.

The HAZ lengths for AW and CR test specimens were determined to be about 2.2 mm and 2.4 mm in length, respectively, while the HAZ for HT test specimens could not be identified, possibly due to the solution treatment. Lack of evidence for lack of fusion or incomplete penetration in macrographs was crucial, as these defects strongly influence weldment reliability and failure mode²⁴.

Microstructures of the weld metal were similar in the three welded samples, with the applied heat treatments showing limited impact on the morphology and size of dendrites because they are related to the cooling rate and solidification, as informed by Peng et al.²⁵. Post-weld heat treatment effects were more pronounced in the HAZ microstructure. Overaging of the HAZ was identified as a factor reducing tensile strength and hardness in the weld^{26,27}. The microhardness profiles illustrated this overaging effect, particularly in the HAZ induced by the weld thermal cycle²⁸.

AW test samples exhibited coarsening of precipitates in the HAZ, especially at grain boundaries, leading to reduced hardness in reference to the base metal, whose hardness has been reported up to 100 HV for AA6060-T6 alloy²⁸. This reduction extended beyond the HAZ, emphasizing the influence of welding thermal cycles on microhardness. Due to aluminum's high thermal conductivity, thermal cycles are observed near the joint, propagating from the weld zone towards the base metal during the welding and in the opposite direction during cooling. These thermal cycles are caused by heat transfer, which occurs due to the energy input during the welding process. Once the heat input has

stopped, the solidification begins from the base metal (the cooler region) towards the center of the weld pool (the hotter region). Then, during cooling, the heat transfer occurs in the reverse direction (from the weld to the base metal), generating different thermal gradients. The proximity to the weld zone determines the heat intensity, potentially leading to the formation of various phases between these regions. In this way, it has been indicated that the size and distribution of Mg_2Si phases affect the mechanical properties²⁹. In our experimental results, as shown in Figure 9, a heterogeneous size distribution was obtained due to the changes in morphology, with an average size of 3.5 μm .

CR test samples showed stronger coarsening of precipitates, particularly in the HAZ, impacting hardness. However, a slight increase in hardness in the base metal suggested that overaging treatment induced coarsening of precipitates, which was more pronounced in the HAZ. Such coarsening has been found to strongly influence the hardness in the HAZ²³⁻²⁹.

Microstructure analysis of HT test samples indicated effective precipitate dissolution through solution treatment while aging treatment restored mechanical properties. Microhardness profiles in the base metal aligned with literature values for AA6061-T6. The location of cracks after tensile testing in HT samples confirmed the effectiveness of the applied treatments.

Fractographic analysis revealed ductile fracture patterns in base metal, AW, and CR test samples, characterized by dimples in the center and shearing dimples at the edges. Lack of embrittlement due to precipitates at grain boundaries was indicated. In contrast, HT test samples exhibited a mix of tensile dimples, porosity, and dendrites, consistent with the location of cracks in the weld metal. The

influence of welding defects, particularly lack of fusion, on mechanical properties and crack place in AA6061-T6 weldments was underscored by fractographic evidence³⁰.

The fracture pattern in the HT test samples showed a mix of tensile dimples, porosity, and dendrites. This fracture pattern indicated a ductile fracture, which is explained by the location of the crack at the weld metal. Again, this evidence matched with the microstructure of the weld metal.

The heat treatment did not strongly modify the microstructure of the weld metal then it is feasible to say that some typical defects of the aluminum weld metal, such as pores and micro-cracks, remained in the microstructure of such area and played a role in the crack growth during the tensile test. This fact has already been explained in technical literature³⁰⁻³².

5. Conclusions

This study explored the mechanical and microstructural behavior of Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) butt-welded 6061-T6 Aluminum alloy subjected to various heat treatment conditions after the welding process and tensile testing temperatures. Several key conclusions emerged from this research:

1. Temperature-dependent mechanical properties: The mechanical testing results demonstrated a temperature-dependent behavior, with the as-welded (AW) and heat-treated (HT) specimens exhibiting lower variability in tensile and yield strength across different temperatures. Cryogenic treatment (CR) revealed a distinct trend, exhibiting higher tensile strength at low temperatures and a subsequent decrease as the temperature rises.

2. Influence of post-weld heat treatment: Post-weld heat treatments (HT) restore mechanical properties, effectively dissolving

precipitates through a solutionizing treatment and contributing to overall joint efficiency. Also, microhardness profiles show the impact of heat treatments on the hardness distribution, with HT samples exhibiting higher values in the HAZ and base metal.

3. Microstructural transformations: Microstructural analyses revealed the persistence of dendritic structures in weld metal across different conditions, highlighting the limited influence of applied heat treatments on their morphology. Overaging effects were observed in CR samples, particularly in the HAZ, whereas HT samples demonstrated effective dissolution of precipitates in the base metal.

4. Fractographic evaluation: Fractographic examinations exhibited the fracture patterns, showing ductile characteristics in base metal, AW, and CR samples, with evidence of dimples indicative of ductile fracture. HT samples displayed a distinct fracture pattern characterized by a mix of tensile dimples, porosity, and dendrites, aligning with the location of cracks in the weld metal. Lack of fusion is a significant factor influencing mechanical properties and crack location.

These findings suggest practical implications for improving welding processes and heat treatments to enhance the reliability and performance of aluminum alloy weldments. Future research may explore other relationships between welding parameters, post-weld treatments, and microstructural changes, considering additional factors such as welding speed and thermal efficiency.

References

1. Georgantzia, E., Gkantou, M. & Kamaris, G. S. "Aluminium alloys as structural material: A review of research". *Eng.*

- Struct.* 227, 111372 (2021). 10.1016/j.engstruct.2020.111372.
2. Materials and applications, Part 1. in *Welding handbook* (eds. Connor, L. P., O'Brien, R. L., Oates, W. R. & American Welding Society) vol. Volume 3 (American Welding Society, 1987).
 3. *AWS D1.2/D1.2M Structural Welding Code - Aluminum*. 83–87 (2013).
 4. Habibi, I., Triyono & Muhayat, N. A “Review on Aluminum Arc Welding and It's Problems”. in *Proceedings of the 6th International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials* (eds. Sabino, U., Imaduddin, F. & Prabowo, A. R.) 819–826 (Springer Singapore, 2020). 10.1007/978-981-15-4481-1_78.
 5. Ramaswamy, A., Malarvizhi, S. & Balasubramanian, V. “Post-weld heat treatment effects on the tensile properties of cold metal arc welded AA 6061-T6 aluminum joints”. *Mater. Test.* 62, 69–76 (2020). 10.3139/120.111454
 6. Rathinasuriyan, C., Kumar, V. S. S. & V, S. “Mechanical and Metallurgical Properties of GTAW, GMAW and FSW Lap Joints on AA6061-T6 Alloy”. *Adv. Mater. Process. Technol.* 8, 3231–3247 (2022). 10.1080/2374068X.2021.1946322
 7. Guzmán, I. *et al.* “Tensile and fracture behavior in 6061-T6 and 6061-T4 aluminum alloys welded by pulsed metal transfer GMAW”. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 103, 2553–2562 (2019). 10.1007/s00170-019-03673-7
 8. Rodríguez-Hernández, T. *et al.* “First assessment on the microstructure and mechanical properties of gtaw-gmaw hybrid welding of 6061-t6 AA”. *J. Manuf. Process.* 59, 658–667 (2020). 10.1016/j.jmapro.2020.09.069
 9. Soundararajan, R., Ramkumar, K. R., Sivasankaran, S. & Kim, H. S. “Enhancement of tensile strength in AA 6061-T6 plates joined by gas tungsten arc welding using high entropy alloy filler sheet”. *Mater. Sci. Eng. A* 832, 142481 (2022). 10.1016/j.msea.2021.142481
 10. Anderston, T. *Welding aluminum: questions and answers: a practical guide for troubleshooting aluminum welding-related problems*. (American Welding Society, 2010).
 11. ASTM International. ASTM E8/E8M - 16a Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. in *ASTM Volume 03.01 Metals – Mechanical Testing; Elevated and Low-Temperature Tests; Metallography* vol. 03.01 (ASTM International, 2016).
 12. ASTM International. ASTM E3-11 (2017) Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. in *ASTM Volume 03.01 Metals – Mechanical Testing; Elevated and Low-Temperature Tests; Metallography* vol. 03.01 (ASTM International, 2017).
 13. Dowling, N. E. & App, B. “Statistical variation in materials properties”. in *Mechanical Behavior of Materials* 798–806 (Prentice-Hall).
 14. Matweb. Material Property Data Aluminum 6061-T6. <https://asm.matweb.com/search/specificmaterial.asp?bassnum=ma6061t6>. Retrieved November 20th, 2023.
 15. The American Society of Mechanical Engineers. *BPVC Section II-Materials-Part D-Properties-(Customary)*. (ASME, 2023).

16. Askeland, D. R. *The Science and Engineering of Materials*. (Springer US: Imprint: Springer, 1996).
17. Pan, M. *et al.* "A Study on Welding Characteristics, Mechanical Properties, and Penetration Depth of T-Joint Thin-Walled Parts for Different TIG Welding Currents: FE Simulation and Experimental Analysis". *Metals* 12, 1157 (2022). 10.3390/met12071157
18. Evdokimov, A., Obrosova, A., Ossenbrink, R., Weiß, S. & Michailov, V. "Mechanical properties of dissimilar steel-aluminum welds". *Mater. Sci. Eng. A* 722, 242–254 (2018). 10.1016/j.msea.2018.03.019
19. Samiuddin, M. *et al.* "Investigation on the process parameters of TIG-welded aluminum alloy through mechanical and microstructural characterization". *Def. Technol.* 17, 1234–1248 (2021). 10.1016/j.dt.2020.06.012
20. Gómora, C. M., Ambriz, R. R., Curiel, F. F. & Jaramillo, D. "Heat distribution in welds of a 6061-T6 aluminum alloy obtained by modified indirect electric arc". *J. Mater. Process. Technol.* 243, 433–441 (2017). 10.1016/j.jmatprotec.2017.01.003
21. Park, K. *et al.* "Effects of Cryogenic Treatment on Residual Stress and Tensile Properties for 6061 Al Alloy". *Taehan-Kumsok-Hakhoe-Chi J. Korean Inst. Met. Mater.* 49, 9–19 (2011).
22. Lakshminarayanan, A. K., Balasubramanian, V. & Elangovan, K. "Effect of welding processes on tensile properties of AA6061 aluminium alloy joints". *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 40, 286–296 (2009). 10.1007/s00170-007-1325-0
23. Ribeiro, A. S. & De Jesus, A. M. P. "Fatigue Behaviour of Welded Joints Made of 6061-T651 Aluminium Alloy". in *Aluminium Alloys, Theory and Applications* (ed. Kvackaj, T.) (InTech, 2011). doi:10.5772/14489.
24. Wang, B., Xue, S., Ma, C., Wang, J. & Lin, Z. "Effects of Porosity, Heat Input and Post-Weld Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of TIG Welded Joints of AA6082-T6". *Metals* 7, 463 (2017). 10.3390/met7110463
25. Peng, D., Shen, J., Tang, Q., Wu, C. & Zhou, Y. "Effects of aging treatment and heat input on the microstructures and mechanical properties of TIG-welded 6061-T6 alloy joints". *Int. J. Miner. Metall. Mater.* 20, 259–265 (2013). 10.1007/s12613-013-0721-8
26. Wang, J., Chen, X., Yang, L. & Zhang, G. "Effect of preheat & post-weld heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 6061-T6 aluminum alloy welded sheets". *Mater. Sci. Eng. A* 841, 143081 (2022). 10.1016/j.msea.2022.143081
27. Cheng, J. *et al.* "Improving heat-affected zone softening of aluminum alloys by in-situ cooling and post-weld rolling". *J. Mater. Process. Technol.* 306, 117639 (2022). 10.1016/j.jmatprotec.2022.117639.
28. Yi, J., Wang, G., Li, S., Liu, Z. & Gong, Y. "Effect of post-weld heat treatment on microstructure and mechanical properties of welded joints of 6061-T6 aluminum alloy". *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 29, 2035–2046 (2019). 10.1016/S1003-6326(19)65110-1

29. Dewan, M. W., Wahab, M. A. & Okeil, A. M. "Influence of Weld Defects and Postweld Heat Treatment of Gas Tungsten Arc-Welded AA-6061-T651 Aluminum Alloy". *J. Manuf. Sci. Eng.* 137, 051027 (2015). 10.1115/1.4030333
30. Verma, R. P. & Kumar Lila, M. "A short review on aluminium alloys and welding in structural applications". *Mater. Today Proc.* 46, 10687–10691 (2021). 10.1016/j.matpr.2021.01.447
31. Liu, F. J., Fu, L. & Chen, H. Y. "Microstructure evolution and fracture behaviour of friction stir welded 6061-T6 thin plate joints under high rotational speed". *Sci. Technol. Weld. Join.* 23, 333–343 (2018). 10.1080/13621718.2017.1389837
32. Zhang, L. *et al.* Microstructure, mechanical properties and fatigue crack growth behavior of friction stir welded joint of 6061-T6 aluminum alloy. *Int. J. Fatigue* 135, 105556 (2020). 10.1016/j.ijfatigue.2020.105556



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Análisis del estrés laboral de los empleados en las empresas manufactureras de Zona Fronteriza en Reynosa Tamaulipas **Analysis of work-related stress of employees in manufacturing companies in Reynosa Tamaulipas border zone.**

Morales-Rodríguez, M.A.^a, Cervantes-Zubirías, G.^{a*}, Díaz-Martínez, M.A.^b, Alva-Rocha, L.A.^a, Morales-Rodríguez, J.A.^a

^a Área de Ingeniero Industrial. Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa Aztlán. ORC ID: 0000-0002-1342-297X; ORC ID: 0000-0002-9912-5035; ORC ID: 0000-0003-3785-1143.

^b Área de Postgrado e Investigación. Instituto Tecnológico Superior de Pánuco (Veracruz). ORC ID: 0000-0003-1054-7088.

mmorales@docentes.uat.edu.mx; gabriela.cervantes@docentes.uat.edu.mx*; marco.diaz@itspanuco.edu.mx;
lalva@docentes.uat.edu.mx; alberto.morales@uat.edu.mx

Recibido: 02 julio 2023

Aceptado: 27 marzo 2024

Abstract

Nowadays, Work stress tends to be one of the factors that have an impact on the different phases of an individual's life, constituting a challenge within the work environment. According to the constant global changes, organizations from various manufacturing, service, public or private sectors around the world have been forced to modify their production processes in order to stay competitive in the market. As a result, the demands on employees increase, causing stress to the individual and adding other factors, such as limited interaction with the environment, personality and long working hours. The purpose of this research was to examine the perception that people have in their work environment towards aspects of flexibility, and to identify the connection between them. The study is descriptive, quantitative and correlational in approach. The design of the research was based on the state-of-the art review of the instrument for collecting the main intra-workplace conditions that directly affect the development of work stress. The results show that, when applying a descriptive analysis test to the intellectual challenge variable, the highest value was obtained with an average of 3.39, which indicates that employees have a strong level of training related to the activities they carry out in each area of the company. This is followed by the organizational climate variable with a score of 3.17 and is positively related to a good relationship between the staff.

Keywords: Work stress, Intellectual challenge, Work environment, Leadership.

Resumen

El agobio laboral en la actualidad tiende a ser uno de los elementos que impactan en las distintas fases de la vida de los individuos, constituyendo un desafío dentro del ámbito laboral. Conforme a las constantes transformaciones a nivel global, las entidades de diversos sectores ya sean manufactureros, de servicios, públicos o privados a nivel mundial, se han visto obligadas a ajustar sus procedimientos productivos para mantenerse competitivas en el mercado. En consecuencia, las demandas sobre los empleados se intensifican, generando tensión en el individuo y sumándose otros factores como la limitada interacción con el entorno, la personalidad y las extensas jornadas laborales. El propósito de la presente investigación fue examinar la percepción que los trabajadores tienen en su entorno laboral con respecto a los aspectos de flexibilidad e identificar la conexión existente entre ellos. Este estudio adopta un enfoque descriptivo, cuantitativo y correlacional. El diseño de la investigación se elaboró a partir de la revisión del estado del arte del instrumento de recolección de las principales condiciones intralaborales que inciden directamente en el desarrollo del estrés laboral. Los resultados indican que, al aplicar una prueba de análisis descriptivo a la variable de desafío intelectual, se obtuvo el valor más elevado con una media de 3.39, lo que señala que los empleados poseen un sólido nivel de capacitación relacionado con las actividades que desempeñan en cada área de la empresa. Esto es seguido por la variable de clima organizacional, que presenta una puntuación de 3.17 y está positivamente vinculada a una buena relación entre el personal.

Palabras clave: Estrés laboral, Reto intelectual, Entorno laboral, Liderazgo.

1. Introducción

El término estrés fue utilizado por primera vez para cualquier posible estímulo respuesta de lucha o escape (Cannon, 1994). Posteriormente, el término también se utilizó para referirse a factores ambientales. Una relación entre la persona y el ambiente, en la que el sujeto percibe en qué medida las demandas ambientales constituyen un peligro para su bienestar, si exceden o igualan sus recursos para enfrentarse a ellas (Lazarus, 1999). Manifiestan que no existe una definición unánimemente aceptada de carga mental, sí se podría decir que es el resultado concreto de la interacción entre un trabajador específico y una o varias tareas específicas. De modo que una misma tarea puede resultar más difícil para unos trabajadores que para otros (González Gutiérrez, Moreno Jiménez, Garrosa Hernández, & López López, 2005).

El malestar del estudiante se presenta debido a factores físicos, emocionales ya sea de carácter o ambientales que pueden ejercer una presión significativa en la competencia individual (Martínez Díaz & Díaz Gómez, 2007). Según varios estudios determinaron que el sistema neuroendocrino responde a los estresores en forma de patrones de respuesta totalitarios, implicando a cualquier sistema neuroendocrino del organismo (Mason, 1971).

Las necesidades psicológicas básicas, la de satisfacción y correspondiente a la autonomía es decir la necesidad de sentir según (Monteiro et al., 2017) son innatas y universales y en este sentido que regula las propias acciones y habilidades y el ser independiente puede generar estrés en la vida del ser humano.

En el 2018 se estableció la Norma Oficial Mexicana 035 de la Secretaría de Trabajo y Previsión Pública (NOM-035-STPS-2018) cuyo objetivo es identificar, analizar y prevenir los factores de riesgo psicosocial, así como para promover un entorno favorable en los centros de trabajo, entrando en vigor durante el 2019 (*Normas Oficiales Mexicanas de Seguridad y Salud en el Trabajo*, s.f.).

El estrés laboral presenta diversas circunstancias en el trabajo, pero con frecuencia empeora cuando los empleados sienten que no cuentan con apoyo de liderazgo de los jefes y colegas (Steve M, 1998). También se presenta confusión relacionado con la presión y el estrés laboral generando una mala práctica en el ambiente laboral (Barrada, 2018).

La presión en el lugar de trabajo se debe a las exigencias del entorno laboral. La presión percibida como aceptable por un individuo puede incluso mantener a los trabajadores alertas, motivados, capaces de trabajar y aprender, según los recursos disponibles y las características personales. Sin embargo, cuando esa presión se vuelve excesiva o inmanejable, genera estrés laboral. El estrés laboral puede dañar la salud de los empleados y en la productividad de las organizaciones se presenta cuando las personas sufren demandas y presiones laborales que no corresponden con sus conocimientos, competencias, habilidades que desafían su capacidad para hacer frente a estas situaciones (*Organización Internacional del Trabajo*, s.f.).

El estrés laboral es el resultado de la relación entre el individuo, el clima laboral y la percepción individual de factores amenazantes derivados del trabajo, que pone en peligro el bienestar físico, psicológico, social y aumenta la probabilidad del consumo de alcohol (Yada H, 2011). Reflejándose en

el conjunto de las preocupaciones, mortificaciones y nerviosismo que tiene el trabajador como resultado de las altas exigencias demandadas en su trabajo, del clima laboral, de la inseguridad del trabajo y la capacidad de respuesta del trabajador a las demandas o exigencias de su trabajo (Tabernero, Arenas, Cuadrado, & Luque, 2014). Por lo cual podemos concluir que el estrés laboral surge cuando existen demandas exigentes de su productividad, cuando no hay clima laboral favorable, cuando no existe un reconocimiento de su trabajo por parte de los líderes y cuando no existe un trabajo en equipo por falta de comunicación y de integración de los compañeros de trabajo (Chiavenato, 2017).

En la última década ha existido un interés organizacional para que exista un clima laboral que ayude a generar un aumento en la productividad (Sanz & García, 2008).

También, favorece a las relaciones interpersonales entre supervisores, jefes y trabajadores que sean empáticas y propositivas, que exista un sentido de pertenencia entre los empleados hacia su espacio de trabajo y con ello exista satisfacción y menos inseguridad laboral (Castillo, 2021).

Desde esta perspectiva podemos afirmar que un clima laboral positivo favorece de manera significativa a la productividad y por ende favorece a que las y los empleados de la industria no sufran de estrés laboral ya que los objetivos laborales se van cumpliendo de acuerdo con las metas establecidas de la productividad. La productividad se mide por el grado de eficiencia con que se emplean los recursos humanos y otros para alcanzar los objetivos de la organización (Andrade et al., 2019). Por lo anterior, es necesario la aplicación de técnicos y metodologías que permitan a la organización a medir este grado de eficiencia.

El objeto del estudio del estrés laboral con respecto al clima laboral, al reto intelectual, al liderazgo laboral y al trabajo en equipo es dar a conocer un tema de importancia para el bienestar de las y los empleados de la industria maquiladora e identificar las variables que inciden de manera negativa en el desarrollo del estrés laboral al interior de las industrias maquiladoras (Guevara & Vidaurre, 2019). Para obtener un clima positivo es importante que esté relacionado de manera directa con el clima laboral, salud mental y física que ayuden a generar actitudes favorables en el trabajo, como la motivación al personal laboral y el desempeño exitoso (P. Parker, y otros, 2003). Así mismo se ha observado que cuando no existe la información completa sobre los hechos que ocurren en su trabajo, afecta al trabajador sobre su futuro (Cruz-Zuñiga, Alonso Castillo, Armendáriz-García, & Lima Rodríguez, 2021). Si el ambiente laboral es percibido como negativo influye en un descontrol de adaptación del personal, la alta rotación, baja productividad y la aparición de consecuencias como el estrés laboral que es percibida como una amenaza al bienestar físico, psicológico y social (Vives, y otros, 2011).

Este estudio tiene como propósito examinar la percepción del estrés laboral en los trabajadores mediante la implementación de entrevistas y modelos estructurales para evaluar el impacto del estrés en el ámbito laboral. En la segunda sección, se detalla el marco conceptual, se identifican las variables asociadas al estrés laboral y se presentan las hipótesis de investigación. La tercera sección aborda el instrumento utilizado para la recopilación de datos. Por último, en la sección 4, se lleva a cabo el análisis de los resultados mediante el uso del modelo de mínimos cuadrados parciales (PLS), y se aplican validaciones de confiabilidad al

instrumento de investigación, tales como el Alfa de Cronbach y Omega McDonald.

2. Marco conceptual, variables e hipótesis de investigación

A continuación, se detallan los conceptos de las variables e hipótesis.

2.1 Sociodemográficas

La variable sociodemográfica es el estudio de equipo de recurso humano que se centra en analizar la evolución en un periodo específico. Un indicador sociodemográfico es un dato que da el panorama de una situación social. Esta información puede conseguirse a través de encuestas, censos o cifras registradas de distintas maneras por organismos estatales o empresas públicas o privadas. El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) es el organismo responsable de producir estadísticas de interés, el instituto proporciona servicios de información pública y también realiza la tarea de censar a la población (INEGI, 2024).

2.2 Reto Intelectual

Los retos intelectuales, así como la satisfacción laboral es un estado emocional que resulta de la apreciación de los empleados por su trabajo y la medida en que la organización a la que prestan sus servicios les proporciona incentivos que satisfacen sus necesidades y expectativas a cambio de sus contribuciones a la organización (Pedraza N, 2020).

H0a: El estrés laboral no tiene efecto respecto a las emociones percibidas por la satisfacción laboral y las contribuciones que reciben por parte de la organización.

H1a: El estrés laboral tiene efecto respecto a las emociones percibidas por la satisfacción laboral y las contribuciones que reciben por parte de la organización.

2.3 Estrés Laboral

Se define como una reacción física y emocional que se produce cuando las exigencias del trabajo no coinciden con las capacidades, los recursos o las necesidades del trabajador. El estrés afecta al rendimiento y aumenta el ausentismo a largo plazo, esto puede conducir a problemas de salud graves como trastornos cardiovasculares. Las organizaciones se ven afectadas por los costos asociados con el ausentismo, la pérdida de productividad la alta rotación de empleados. Los costos adicionales que se generan como la atención médica y los resultados comerciales negativos afectan en última instancia a la sociedad y la economía nacional (Agencia Europea, 2023).

2.4 Liderazgo organizacional

Uno de los desafíos para los líderes organizacionales es fomentar un clima organizacional que empodere a los empleados y apoye la innovación el cual es desarrollar habilidades creativas que impacten al conocimiento. El liderazgo organizacional como un proceso implica principalmente cambios en las partes interesadas trabajadores y está representada por la dimensión de influencia, idealización (atribución y comportamiento), motivación inspiradora, consideración, personalización y estimulación intelectual (Salgado et al., 2022).

2.5 Trabajo en equipo

Una estrategia corporativa adecuada permitirá la optimización de los procesos como el incremento de la productividad laboral, para alcanzar los objetivos y metas. El objetivo del trabajo en equipo es integrar a un grupo de empleados, o personas con capacidades y habilidades y destrezas similares con el fin de realizar actividades y tareas de manera más eficaz para la toma de decisiones y dar mejores resultados (Lima E., 2018).

H0b: El estrés laboral no tiene efecto respecto al desempeño del trabajo en equipo para cumplir con los objetivos y toma de decisiones.

H1b: El estrés laboral tiene efecto respecto al desempeño del trabajo en equipo para cumplir con los objetivos y toma de decisiones

2.6 Clima Organizacional

El clima organizacional (CO) se define como el conjunto de características psicológicas que caracterizan a una empresa y las distingue de otras. Es creada a partir de interacciones personales y que tienen relación con la satisfacción y la productividad considerando la definición de calidad total. Las demandas no sólo son las jornadas laborales, debe considerarse si el ambiente es perjudicial y las necesidades de formación y seguridad laboral (Muñoz et al., 2006).

3. Metodología

Esta investigación se llevó a cabo en el periodo 2018 y tiene como objetivo llevar a cabo un análisis cuantitativo e inferencial para explorar las relaciones entre diversas variables de interés. Utilizamos técnicas de estadística multivariada en un estudio que incluyó a 80 empleados de empresas manufactureras ubicadas en los municipios de Reynosa, Tamaulipas. La población seleccionada demostró familiaridad con los procesos de sus respectivas organizaciones. La recopilación de datos se realizó mediante entrevistas semiestructuradas, que ofrecen un mayor grado de flexibilidad en comparación con las entrevistas estructuradas. Estas entrevistas comenzaron con preguntas planificadas, las cuales se adaptaron según las respuestas de los participantes. La ventaja de este enfoque radica en su capacidad para motivar a los entrevistados, aclarar términos,

identificar ambigüedades y reducir formalidades.

Para medir el estrés laboral, se delineó un instrumento de medición que consta de 40 preguntas. Cada pregunta se valora en aproximadamente 2.5 puntos, lo que suma un

total del 100%. Estas preguntas se agruparon en seis categorías o variables distintas, a saber: reto intelectual, variables sociodemográficas, liderazgo organizacional, trabajo en equipo, clima organizacional y estrés laboral, tal como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios y variables del instrumento de evaluación de estrés laboral.

Variable	Pregunta	Criterio a Evaluar
Variables Sociodemográficas	P1	Género
	P2	Estado Civil
	P3	Nivel Académico
	P4	Experiencia Laboral
Reto Intelectual	P5	¿Mi trabajo requiere que aprenda cosas nuevas?
	P6	¿Mi trabajo necesita un nivel elevado de preparación?
	P7	¿En mi trabajo debo ser creativo?
	P8	¿Mi trabajo consiste en hacer siempre lo mismo?
	P9	¿Tengo libertad de decidir cómo hacer mi trabajo?
	P10	¿Mi trabajo me permite tomar decisiones en forma autónoma?
	P11	¿En el trabajo tengo la oportunidad de hacer cosas diferentes?
	P12	¿Tengo influencia de las decisiones que se toman en mi trabajo?
	P13	¿En el trabajo tengo la posibilidad de desarrollar mis habilidades?
Estrés Laboral	P14	¿Mi trabajo exige hacerlo rápidamente?
	P15	¿Mi trabajo exige un gran esfuerzo mental?
	P16	¿Tengo una carga excesiva de trabajo?
	P17	¿Dispongo de suficiente tiempo para hacer mi trabajo?
	P18	¿Recibo indicaciones contradictorias de mis superiores?
	P19	¿Mi trabajo me obliga a concentrarme durante largos periodos de tiempo?
	P20	¿Mis actividades son interrumpidas a menudo y debo finalizarlas más tarde?
	P21	¿Mi trabajo es muy dinámico?

P22		¿A menudo me retraso en mi trabajo porque debo esperar al trabajo de los demás?
Liderazgo Organizacional	P23	¿Mi jefe se preocupa por el bienestar de los trabajadores que están bajo su supervisión?
	P24	¿Mi jefe presta atención a lo que digo?
	P25	¿Mi jefe tiene una actitud hostil o conflictiva hacia mí?
	P26	¿Mi jefe facilita la realización del trabajo?
	P27	¿Mi jefe consigue que la gente trabaje unida?
Trabajo en equipo	P28	¿Las personas con las que trabajo están calificadas para las tareas que realizan?
	P29	¿Las personas con las que trabajo tienen actitudes hostiles hacia mí?
	P30	¿Las personas con las que trabajo se interesan por mí?
	P31	¿Las personas con las que trabajo son amistosas?
	P32	¿Las personas con las que trabajo se apoyan mutuamente para trabajar juntas?
	P33	¿Las personas con las que trabajo facilitan la realización del trabajo?
Clima Organizacional	P34	¿Mis compañeros de trabajo son comprometidos a hacer un trabajo de calidad?
	P35	¿Me siento animado por los demás en el desarrollo de mi trabajo?
	P36	¿Tengo una buena relación con mis compañeros de trabajo?
	P37	¿Recibo retroalimentación de mi progreso?
	P38	¿Tengo la oportunidad de realizar lo que mejor se hace todos los días?
	P39	¿He tenido la oportunidad de crecer y aprender dentro de la empresa?
	P40	¿He recibido reconocimiento o elogio por hacer un buen trabajo últimamente?

Fuente: Elaboración Propia.

Para la aplicación del instrumento de evaluación se utilizó la técnica bola de nieve (Snow ball sampling) (Bernard, 2006). Esta técnica consiste en ubicar a los sujetos de la muestra que cumplan con los criterios de inclusión y que referencien a otros posibles participantes con las mismas características de los criterios de inclusión del estudio (Bernard, 2006).

Habiendo terminado con las entrevistas aplicadas a las empresas, se realizó la

validación del instrumento aplicando el coeficiente de índice de Omega McDonald (Ventura Leon & Caycho-Rodríguez, 2017) (Hayes & Coutts, 2020). Para determinar el nivel de significancia de las variables de estudio, se aplicó el modelo estadístico de mínimos cuadrados parciales (PLS) y el modelo 4 de mediación de análisis cuantitativo de efectos directos e indirectos (Caraka et al., 2021 & Hayes, 2013).

De manera diferente, los participantes fueron elegidos considerando los siguientes parámetros: se incluyeron tanto mujeres como hombres con edades comprendidas entre los 20 y los 60 años, todos ellos actualmente activos en el ámbito laboral. Esta elección se realizó con el propósito de evaluar el nivel de estrés presente tanto en las nuevas generaciones, quienes tienen poco tiempo de experiencia laboral, como en aquellos con más de 15 años. En el proceso de recopilación de datos, no se estableció ningún tipo de discriminación basada en género, edad o estado civil.

El presente trabajo de investigación se compone por seis variables de estudio caracterizadas y expuestas, las cuales se describen en la sección de resultados.

4. Resultados

De acuerdo al objetivo de la investigación que tiene como propósito examinar la percepción del estrés laboral en los trabajadores mediante la implementación de entrevistas y modelos estructurales para evaluar el impacto del estrés en el ámbito laboral. A continuación, se muestran y se describen los resultados.

4.1 Validación y consistencia interna del instrumento de evaluación

El instrumento de evaluación fue validado mediante la prueba de confiabilidad del índice de Omega McDonald (Hayes, 2020), obteniendo como resultado 0.83, que indica que el instrumento tiene un comportamiento estable (Véase Tabla 2). Este índice se determinó mediante la siguiente formula:

$$\omega = \frac{(\sum \lambda_i)^2}{(\sum \lambda_i)^2 + \sum \psi_i} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde λ_i representa la carga factorial, y ψ_i la unicidad del ítem i.

Posteriormente se aplicó y se sometió a prueba mediante el análisis de alfa de Cronbach con resultado de 0.85 lo cual significa que es un instrumento estable (Domínguez, 2012). Para la realización de esta prueba se utilizó las técnicas de estadística multivariada en un estudio que incluyó a 80 empleados de empresas manufactureras ubicadas en los municipios de Reynosa, Tamaulipas.

El porcentaje asignado por respuesta como se presenta en la Tabla 2, es de acuerdo al criterio de evaluación del instrumento aplicado. Y para la distribución de los porcentajes correspondientes de la variable sociodemográfica son los siguientes: Casado(a) 3%, Soltero(a) 2%, Viudo(a) 3%, Unión libre 2%.

Tabla 2. Prueba de Confiabilidad Índice de Omega McDonald.

Variable	% Asignado por respuesta	Alfa de Cronbach	Omega McDonald
Sociodemográficas	10%	.60	.65
Reto Intelectual	8%	.94	.95
Estrés Laboral	25%	.70	.71
Liderazgo Organizacional	8%	.74	.76
Trabajo en equipo	25%	.65	.68
Clima organizacional	24%	.84	.82

Fuente: Creación propia.

Por otra parte, la estimación del factor de inflación de la varianza (o VIF, por *Variance Inflation Factor*) indica que no existe multicolinealidad entre pares de constructos o

factores independientes (véase Tabla 3), obteniendo un valor máximo de 1.98 (Chen, 2012; Montgomery, 2011).

Tabla 3. Tolerancia y VIF por variable.

Variable	Tolerancia	VIF	AVE
Sociodemográficas	.95	1.04	.38
Reto Intelectual	.59	1.68	.35
Liderazgo Organizacional	.42	2.38	.52
Trabajo en Equipo	.32	3.11	.42
Clima Organizacional	.31	3.09	.47

Fuente: Creación propia.

Para la validez –convergente–, se calculó la varianza promedio extraída (o AVE, por Average Variance Extracted) por constructo, obteniendo valores superiores a 0.50, estando por encima de 0.5, que es el valor mínimo recomendado mostrado en la tabla 4 (Hair et al., 2022).

Por último, la validez discriminante aplicada al modelo de cada constructo es independiente de los otros constructos, excepto de aquel que es teóricamente asociado en el esquema propuesto (Henseler et al., 2015) comparando cada coeficiente de regresión y carga o efecto individual con los efectos cruzados de cada variable observada para los demás constructos (véase Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de coeficientes de regresión.

Pregunta	Sociodemográficas	Reto Intelectual	Estrés Laboral	Liderazgo Organizacional	Trabajo en equipo	Clima Organizacional
P1	0.8064	-0.3343	-0.0950	-0.2083	-0.2215	-0.2507
P2	0.6394	-0.2071	-0.1003	-0.1243	-0.1632	-0.1864
P3	-0.1070	0.1397	0.0384	0.1776	0.0993	-0.0548
P4	-0.6776	0.1460	-0.0947	0.0955	0.0868	0.0422
P5	-0.1610	0.5835	0.2528	0.3319	0.2801	0.5071
P6	0.2531	0.0466	0.1472	0.0713	0.0698	0.0341
P7	0.0821	0.4626	0.4662	0.3064	0.2584	0.1784
P8	-0.2950	0.1993	-0.1088	0.0247	0.1364	0.0840
P9	-0.3124	0.8398	0.6476	0.5559	0.5306	0.5609
P10	0.2533	-0.5221	-0.2672	-0.3054	-0.2656	-0.4041
P11	-0.3006	0.7507	0.5580	0.5009	0.5397	0.6456
P12	-0.1447	0.6807	0.4567	0.4230	0.3792	0.4429
P13	-0.3372	0.7651	0.5270	0.5530	0.5080	0.5344
P14	0.0747	-0.2439	-0.1430	-0.1793	-0.2720	-0.3287
P15	0.1159	0.2658	0.2737	0.2127	0.1504	0.0411
P16	0.1493	-0.1371	0.0189	0.0964	0.0720	-0.2784
P17	-0.2096	0.4568	0.4571	0.4340	0.3334	0.6934
P18	0.3026	-0.1174	-0.1914	-0.0618	-0.2065	-0.3507
P19	0.1059	0.1412	0.2101	0.0619	-0.0199	-0.0730
P20	0.2130	-0.0583	-0.0886	-0.0796	-0.1834	-0.4337
P21	-0.0898	0.6312	0.4396	0.5282	0.5379	0.6444
P22	0.2750	-0.3782	-0.3201	-0.4076	-0.3696	-0.6675
P23	-0.0971	0.6092	0.8207	0.5422	0.5509	0.5314
P24	-0.0339	0.5472	0.7845	0.4612	0.5577	0.4370
P25	0.1992	0.1702	0.2534	0.1370	0.1464	0.1843
P26	-0.1340	0.3776	0.7266	0.5458	0.6083	0.3912
P27	-0.1497	0.5754	0.8559	0.5778	0.5649	0.5972

P28	-0.2472	0.2855	0.4958	0.6815	0.4877	0.3206
P29	0.1334	0.2758	0.2467	0.0598	-0.0823	0.1843
P30	0.0256	0.3576	0.4513	0.6325	0.6443	0.3563
P31	-0.1455	0.4561	0.3718	0.6857	0.5084	0.3789
P32	-0.2223	0.5212	0.5202	0.7667	0.7448	0.6423
P33	-0.1588	0.5042	0.4157	0.7715	0.5984	0.4288
P34	-0.1541	0.3112	0.4892	0.6488	0.6303	0.4526
P35	-0.1329	0.5060	0.5634	0.7720	0.7977	0.4671
P36	-0.4122	0.2785	0.3505	0.5332	0.6442	0.4223
P37	-0.0301	0.5009	0.5527	0.5267	0.7376	0.5184
P38	-0.0197	0.3287	0.4315	0.5188	0.5938	0.2737
P39	-0.2945	0.5453	0.5271	0.6064	0.7918	0.5603
P40	-0.0659	0.4359	0.4486	0.4325	0.5685	0.3078

Fuente: Creación propia.

4.2 Análisis del modelo estructural

En la tabla 5, se puede observar los pesos externos, correlación de cargas estandarizadas y límites superior e inferior.

Para la variable *sociodemográfica*, la pregunta 1 que está relacionada con el género y presenta el mayor peso con un 1.0121 de límite superior y la que presenta el menor peso, es la pregunta 2, que evalúa sobre el estado civil de la persona con un 0.3735 de límite inferior con una correlación de carga 0.6394 con un peso externo de 0.5417.

Para la variable correspondiente de reto intelectual el peso más alto lo obtuvo la pregunta 13, que evalúa exigencia sobre la solución de problemas en el trabajo con un 0.3104 de límite superior, la de menor peso fue la pregunta 6, con un 0.2666 límite superior e inferior 0.1836 que evalúa la influencia sobre las decisiones que se toman en el trabajo.

La variable latente de *estrés laboral* el peso más alto lo obtuvo la pregunta 22, que evalúa

tiempos de espera en las líneas de producción 0.4958, la de menor peso fue la pregunta 16, con un 0.2403 que evalúa la carga de trabajo.

En los resultados obtenidos de la dimensión de *liderazgo organizacional* el peso más alto lo obtuvo la pregunta 27, que evalúa trabajo en equipo sobre una actividad en específico con un 0.6074, la de menor peso fue la pregunta 25, con un 0.1523 que evalúa actitud y comunicación con los trabajadores. En la variable de trabajo en equipo el peso más alto lo obtuvo la pregunta 33, que evalúa trabajo en equipo facilidad del desempeño de las actividades con el equipo de trabajo con un 0.3947, la de menor peso fue la pregunta 28, con un 0.2148 que evalúa personal calificado para la realización de las actividades.

Referente a los resultados del *clima organizacional* es la que presentó una mayor aportación, ya que la pregunta 37 obtuvieron el mismo resultado con un 0.3791 está relacionado a la comunicación y retroalimentación sobre las actividades desempeñadas por los trabajadores.

Tabla 5. Datos de Modelo externo de variables latentes, los pesos externos, correlación de cargas estandarizadas y límites superior e inferior.

Variable latente	Variables manifiestas	Peso externo	Correlaciones de cargas (path)	Límite inferior	Límite superior
Sociodemográficas	P1	0.7286	0.8064	-0.6973	1.0121
	P2	0.5417	0.6394	-0.3735	0.8184
	P3	0.1592	-0.1070	-1.0103	0.9003
	P4	-0.1227	-0.6776	-0.7099	0.3016
Reto Intelectual	P5	0.2230	0.2230	0.0428	0.3804

	P6	0.0150	0.0150	-0.1836	0.2666
	P7	0.0785	0.0785	-0.1754	0.2346
	P8	0.0370	0.0370	-0.2127	0.2364
	P9	0.2467	0.2467	0.1297	0.3208
	P10	-0.1777	-0.1777	-0.2872	0.0629
	P11	0.2839	0.2839	0.1459	0.3686
	P12	0.1948	0.1948	0.0326	0.2934
	P13	0.2350	0.2350	0.1199	0.3104
Estrés Laboral	P14	-0.1889	-0.1889	-0.3387	0.0508
	P15	0.1628	0.1628	-0.3674	0.3996
	P16	-0.0205	-0.0205	-0.2403	0.1829
	P17	0.3913	0.3913	-0.2592	0.5234
	P18	-0.1821	-0.1821	-0.3141	0.1354
	P19	0.0595	0.0595	-0.2803	0.3367
	P20	-0.1289	-0.1289	-0.3133	0.1103
	P21	0.4608	0.4608	-0.3714	0.5591
Liderazgo Organizacional	P22	-0.3623	-0.3623	-0.4958	0.0288
	P23	0.3278	0.8207	0.5781	0.9131
	P24	0.2696	0.7845	0.5389	0.8865
	P25	0.1137	0.2534	-0.1523	0.6905
	P26	0.2413	0.7266	0.4083	0.8854
Trabajo en Equipo	P27	0.3684	0.8559	0.6074	0.9313
	P28	0.2084	0.6815	0.2148	0.8682
	P29	0.1198	0.0598	-0.3584	0.6228
	P30	0.2316	0.6325	0.3465	0.8331
	P31	0.2464	0.6857	0.3679	0.8444
	P32	0.4177	0.7667	0.3430	0.9032
	P33	0.2788	0.7715	0.3947	0.9131
Clima Organizacional	P34	0.2162	-0.3287	-0.6995	0.3697
	P35	0.2231	0.0411	-0.7669	0.8138
	P36	0.2017	-0.2784	-0.6916	0.4347
	P37	0.2476	0.6934	-0.3791	0.8137
	P38	0.1308	-0.3507	-0.8458	0.6483
	P39	0.2677	-0.0730	-0.7665	0.7036
	P40	0.1470	-0.4337	-0.7779	0.4393

Fuente: Creación propia.

En la figura 1, se muestra el diagrama estadístico del modelo 1 de HAYES and PRESS de mediación de análisis cuantitativo (Hayes, 2013). Este modelo es exclusivo para la evaluación de tres variables donde: la variable de organización industrial es la variable independiente (X), la variable de

Tecnología Industria 4.0 mediadora (M_i) y la variable dependiente Ambiente laboral industria 4.0 es la variable (Y).

Los efectos condicionales de X sobre Y son = $b_1 + b_{k+1}D_1 + \dots + b_{2k-1}D_{2k-1}$

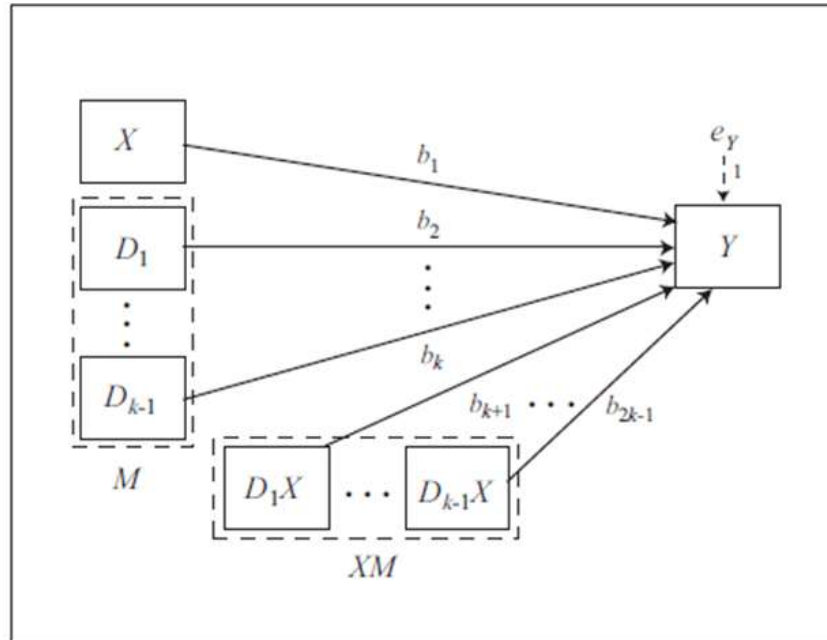


Figura 1. Diagrama estadístico del modelo 1 de Hayes (Hayes, 2020).

En la figura 2, se muestra el diagrama de modelo estructural, la relación entre las variables de estudio y los resultados de los pesos y

correlaciones de cada una de las preguntas por variable de estudio.

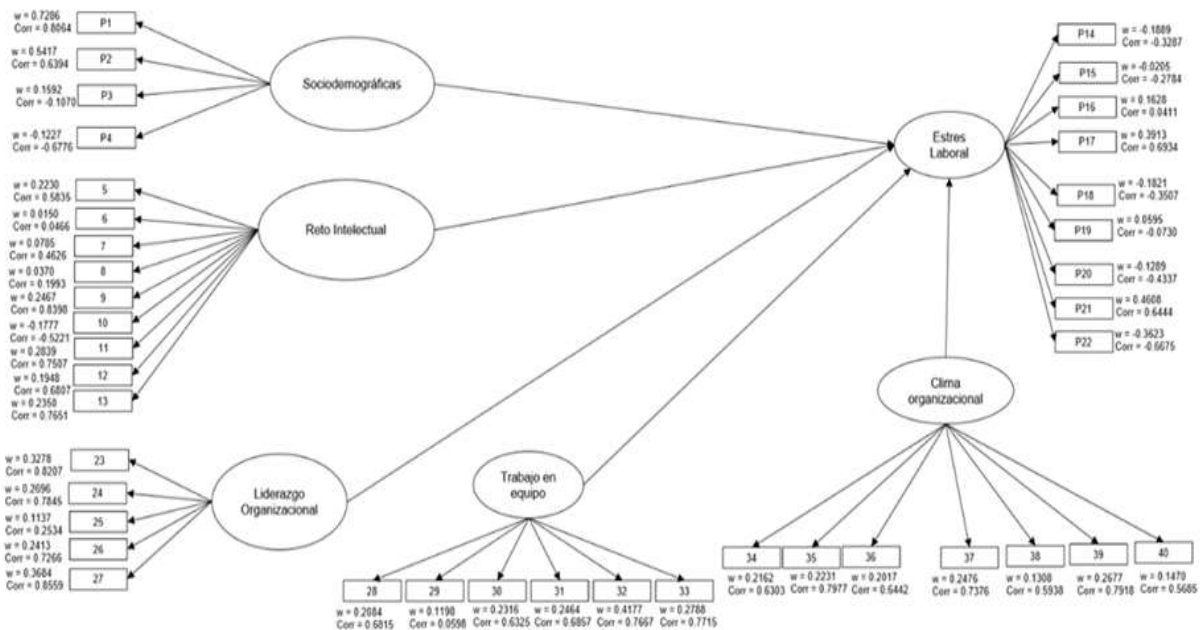


Figura 2. Diagrama de modelo estructural. Fuente: Creación propia.

En la Tabla 6 se muestra los resultados de la relación entre variables de estudio y que porcentaje de aportación R^2 presentan con

respecto a la variable de estrés laboral (ver tabla 6).

Tabla 6. Contribución del estrés laboral con las variables de estudio.

Variable de Estudio	Contribución R ² Estrés Laboral
Sociodemográficas	2.94%
Reto Intelectual	53.85%
Liderazgo Organizacional	12.04%
Trabajo en Equipo	15.18%
Clima Organizacional	15.99%

Fuente: Elaboración propia.

5. Discusión y Conclusiones

La contribución que tiene el estrés laboral con los trabajadores influye en el bienestar emocional y físico, e impacta en lograr la mejora de la productividad de las operaciones. El estrés laboral es un tema novedoso en el campo de la medicina preventiva que requiere constantemente la actualización de reglamentaciones en cuestiones de la salud de los trabajadores (Fernández, 2003). El estrés laboral es un problema latente al hablar de salud ocupacional que ha generado mucha necesidad e importancia hacia los trabajadores y salud física (Patlán, 2019).

Las variables que influyen de acuerdo con la correlación que se tiene con el estrés en este estudio, se comprueba que el reto intelectual tiene contribución, esto permite considerar que se puede mejorar aplicando diversas técnicas que permitan que los trabajadores aprendan cosas nuevas que innoven y que estén en constante preparación ya que sólo el 53.85% lo considera relevante de acuerdo con los datos mostrados de la tabla 6 referente a la contribución del estrés con las variables de estudio. Por consiguiente, mejorar el clima organizacional, fortalecer el Liderazgo y el trabajo en equipo de acuerdo a los resultados obtenidos al interior de las empresas para lograr de esta manera el bienestar de los trabajadores, por ejemplo, Patlán a partir de los resultados de su investigación determino una base teórica y metodológica sobre cómo los profesionales de la salud laboral que abordan el estrés laboral y cómo medirlo, para poder diagnosticarlo y evaluarlo. De su investigación se midieron 13 escalas: En las

cuales nueve midieron el estrés como estímulo, nueve el estrés como respuesta, seis escalas como transacción y cuatro como interacción.

Dentro de esta investigación, las personas que respondieron el instrumento de acuerdo con los datos obtenidos que se muestran en la tabla 5 referente a la variable de estrés laboral los fueron que peso externo fue de 0.0205 y sus correlaciones de carga de 0.0205 así como su límite 0.2403 y límite superior de 0.1829 muestran que tiene una carga excesiva de trabajo y que reciben indicaciones contradictorias de sus superiores por lo que eso genera estrés en sus funciones por lo que es un factor que debe considerarse para el logro de los resultados establecidos en las organizaciones por lo que debe considerarse para fomentar y fortalecer estos beneficios y sobre todo para las personas que contribuyen en el crecimiento laboral de la misma.

Referencias

- Adrián M. Andrade, C. A. (2019). Estudio de Tiempos y Movimientos para Incrementar la Eficiencia en una Empresa de Producción de Calzado. *Información Tecnológica*, 83-94.
- Agencia Europea. (21 de 04 de 2023). *Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo*. Obtenido de <https://osha.europa.eu/es/publications/calculating-cost-work-related-stress-and-psychosocial-risks>
- B. Cannon, W., & Rosenblueth, A. (1949). *The Supersensitivity of Denervated*

- Structures: A Law of Denervation. Experimental Biology Monographs.* New York: Macmillan .
- Barrada, M. (2018). *Estrés Burnout enfermedades en la vida actual.* México: Palibrio.
- Chiavenato, I. (2017). *COMPORTAMIENTO ORGANIZACIONAL.* México: Mc Graw Hill.
- Cruz-Zuñiga, N., Alonso Castillo, M., Armendáriz-García, N., & Lima Rodríguez, J. (2021). Clima laboral, estrés laboral y consumo de alcohol en trabajadores de la industria. Una revisión sistemática. *Revista Española de Salud Pública*, 95, 200-222.
- González Gutiérrez, J. L., Moreno Jiménez, B., Garrosa Hernández, E., & López López, A. (2005). Carga mental y fatiga en servicios especiales de enfermería. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 477-492.
- Guevara, S., & Vidaurre, W. (2019). Estrés laboral y clima organizacional en colaboradores del hospital solidaridad, Chiclaayo. *UCV-HACER. Revista de Investigación y cultura*, 1-31.
- H.Holmes, T., & Rahe, R. H. (1967). The social readjustment rating scale. *Journal of Psychosomatic Research*, 213-218.
- Lazarus, R. S. (1999). *Estrés y Emoción, manejo e implicaciones en nuestra salud.* Bilbao : Desclée de Brouwer, S. A.,.
- Lima E. (30 de noviembre de 2018). *Economía y Gestión.* Obtenido de <https://gestion.pe/economia/manage>
- ment-empleo/importancia-equipo-empresas-nnda-nnlt-251322-noticia/
- Lovullo, W. R. (2016). *Stress and Health: Biological and Psychological Interactions.* United States of America: SAGE Publications, Inc.
- Luis Sarries Sanz, E. C. (2008). *Buenas prácticas de recursos humanos.* Madrid: Business&MARKETING-ESIC.
- Martínez Díaz , E. S., & Díaz Gómez , D. A. (2007). Una aproximación psicosocial al estrés escolar. *Educación y Educadores*, 11-22.
- Mason, J. W. (1971). A re-evaluation of the concept of non specificity in stress theory. *Journal of Psychiatric Research*, 323-333.
- Muñoz et al. (2006). influencia del clima laboral en la satisfacción en la satisfacción de los profesionales sanitarios. *Science Direct (Elsevier)*, 6.
- P. Parker, C., B. Baltes, B., A. Young, S., W. Huff, J., A. Altmann, R., Heather A., L., & Joanne E., R. (2003). Relationships between psychologicalclimate perceptions and work outcomes:a meta-analytic review. *Journal of Organizational Behavior*, 389-416.
- Patlán, J. (2019). ¿Qué es el estrés laboral y cómo medirlo? *Revista Salud Uninorte*, 156-184.
- Pedraza N. (2020). Satisfacción laboral y compromiso organizacional del capital. *Revista Iberoamericana para la investigación y el Desarrollo Educativo (RIDE)*, 29.

- Rice, F. P., & González Salinas, C. (2000). *Adolescencia desarrollo, relaciones y cultura*. Madrid: Prentice Hall.
- Salgado et al. (2022). El lidAndrade, A. M., A Del Río, C., & Alvear, D. L. (2019). Estudio de Tiempos y Movimientos para Incrementar la Eficiencia en una Empresa de Producción de Calzado. *Información tecnológica*, 30(3), 83-94.
- Bernard, H. R. (2006). *Research Methods in Anthropology: Qualitative and Quantitative Approaches*. Rowman Altamira.
- Cannon, B. (1994). Walter Bradford Cannon: Reflections on the man and his contributions. *International Journal of Stress Management*, 1(2), 145-158.
<https://doi.org/10.1007/BF01857608>
- Castillo, M. A. (2021). Clima laboral, estrés laboral y consumo de alcohol en trabajadores de la industria. Una revisión sistemática. *Revista Española de Salud Pública*, 15-15.
- Hair, J., Hult, G. T. M., Ringle, C., & Sarstedt, M. (2022). *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)*.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7>
- Hayes, A. F., & Coutts, J. J. (2020). Use Omega Rather than Cronbach's Alpha for Estimating Reliability. But.... *Communication Methods and Measures*, 14(1), 1-24.
<https://doi.org/10.1080/19312458.2020.1718629>
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 43(1), 115-135.
<https://doi.org/10.1007/s11747-014-0403-8>
- Monteiro, D., Marinho, D. A., Moutão, J., Couto, N., Antunes, R., & Cid, L. (2017). Adaptation and validation of the Portuguese version of Basic Psychological Needs Exercise Scale (BPNEsP) to the sport domain and invariance across football and swimming. *Motricidade*, 51-61 Pages.
<https://doi.org/10.6063/MOTRICIDADE.9372>
- Normas Oficiales Mexicanas de Seguridad y Salud en el Trabajo*. (s. f.). Recuperado 11 de junio de 2023, de <https://asinom.stps.gob.mx/Centro/CentroMarcoNormativo.aspx>
- Organización Internacional del Trabajo*. (s. f.). Recuperado 29 de noviembre de 2023, de <https://www.ilo.org/global/lang-es/index.htm>
- Perfil sociodemográfico de niños*. INEGI (2024).
- Sanz, L. S., & García, E. C. (2008). *Buenas prácticas de recursos humanos*. ESIC Editorial.
- Ventura Leon, J., & Caycho-Rodríguez, T. (2017). El coeficiente Omega: Un método alternativo para la estimación de la confiabilidad. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 15, 625-627.
- erazgo transformacional y su relación con la innovación organizacional. *Revista*

- Administración y Organizaciones*, 27.
- Seyle, H. (1956). *The Stress of Life*. New, York: McGraw-Hill Book Company.
- Steve M, J. (1998). *Stress and job performace*. California: Sage Publications.
- Tabernero, C., Arenas, A., Cuadrado, E., & Luque, B. (2014). Incertidumbre y orientación hacia los errores en tiempos de crisis. La importancia de generar. *Papeles del Psicólogo*, 107-114.
- Vives, A., Vanroelen, C., Amable, M., Ferrer, M., Moncada, S., Llorens, C., . . . Benach, J. (2011). Employment precariousness in Spain: prevalence, social distribution, and population-attributable risk percent of poor mental health. *International Journal Health Services*, 625-646.
- Yada H, A. H. (2011). *Development of the Pshychiantric Nurse Job Stressor Scale*. Psych Clin Neuroci.