Jornadas de Jóvenes Investigadores

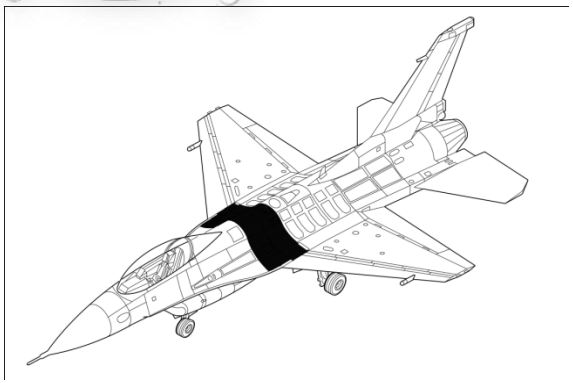
Aplicación de Nanotubos de Carbono al reforzamiento de materiales compuestos usados en aeronáutica

Alberto Monsalve González

alberto.monsalve@usach.cl

Mendoza, 18 de octubre de 2018

INTRODUCCIÓN



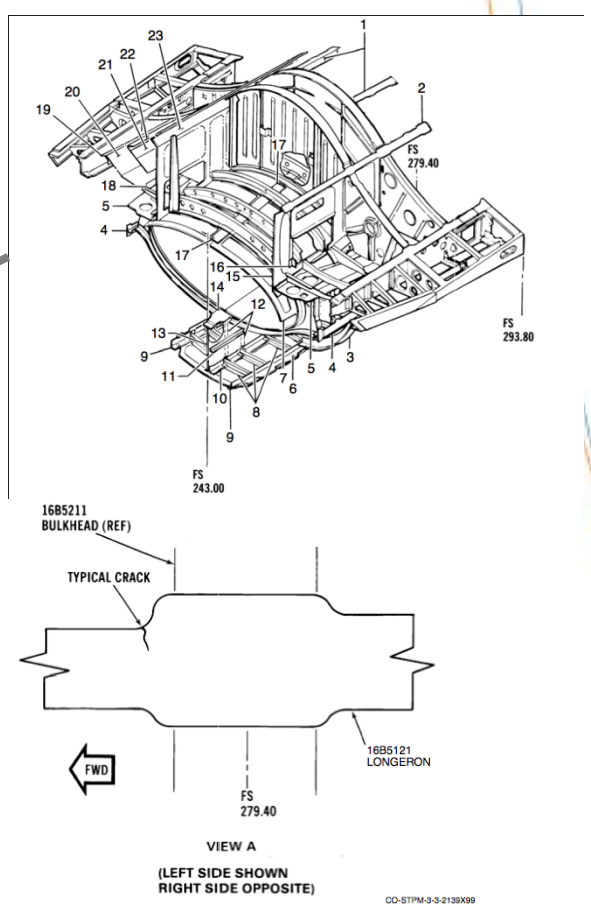
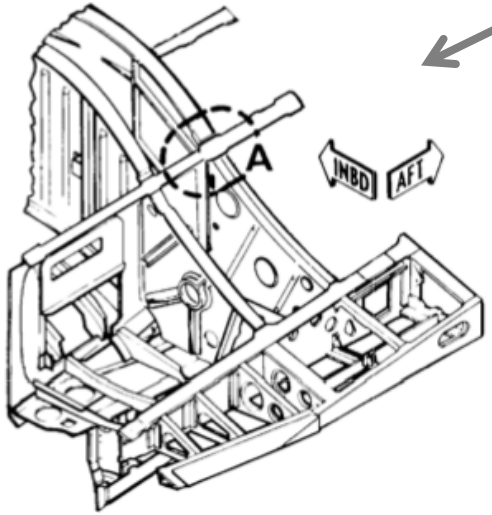


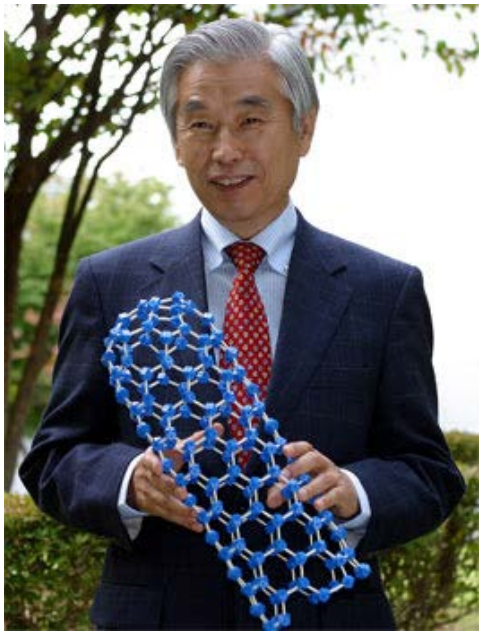
Figure 2-110. Repair for 16B5121 Longeron, FS 279.40.

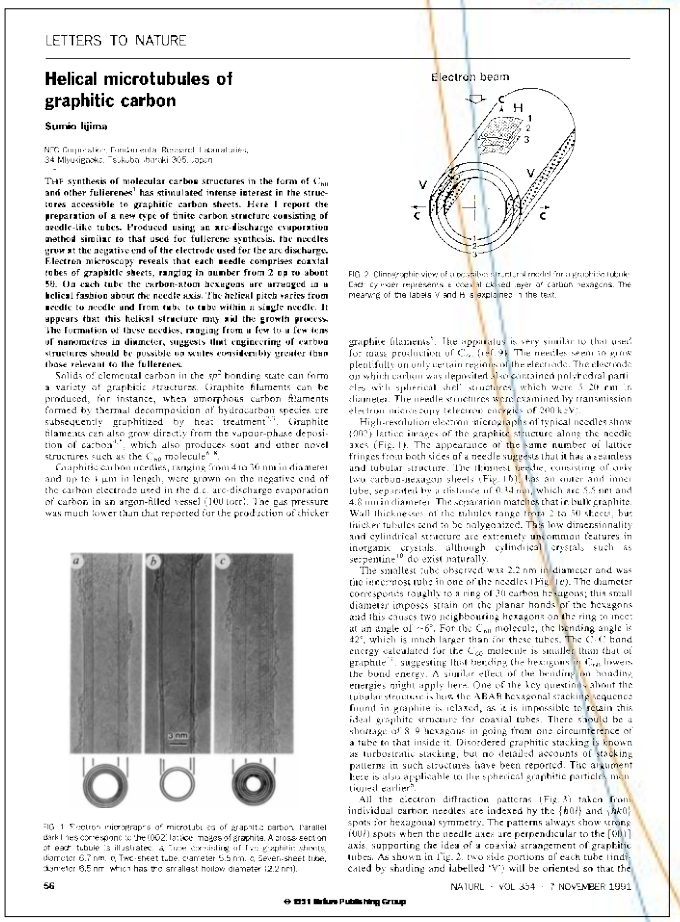


- *Se resumen más de 3 años de investigación en torno al desarrollo de materiales compuestos reforzados con NTC.*
- *Estos materiales son usados como piezas estructurales y como materiales destinados a reparaciones estructurales.*

ANTECEDENTES:

SUMIO IIJIMA, descubridor de los NTC





LETTERS TO NATURE

Helical microtubules of graphitic carbon

Sumio Iijima

NEC Corporation, Fundamental Research Laboratories,
34 Miyukigaoka, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

Electron beam

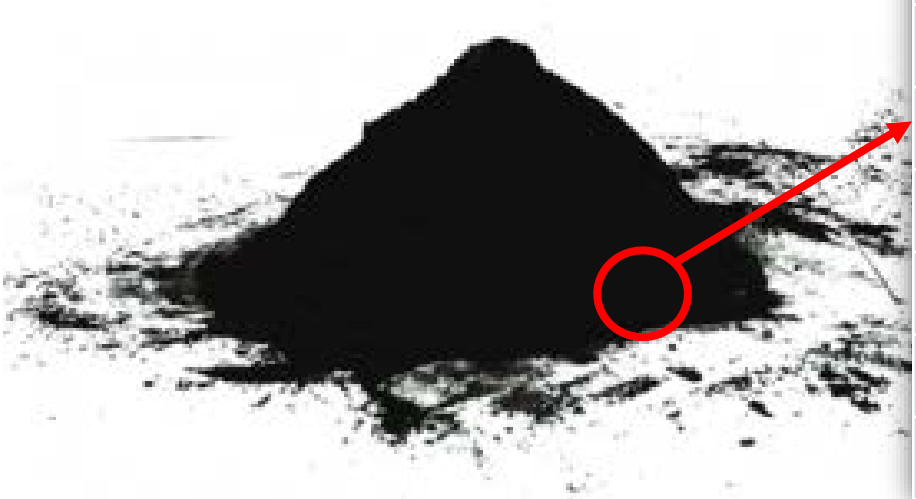
Helical microtubules of graphitic carbon

Sumio Iijima

NEC Corporation, Fundamental Research Laboratories,
34 Miyukigaoka, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

Nanotubos de Carbono

Refuerzo utilizado en la resina.



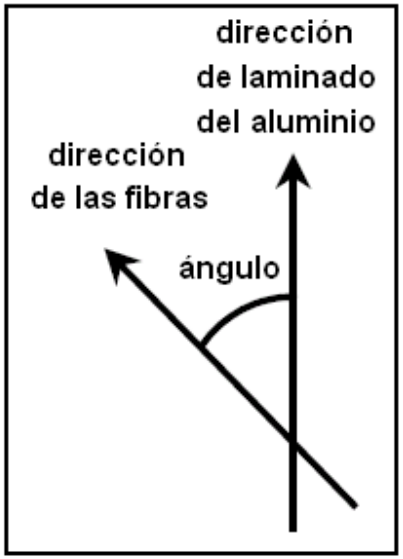
Propiedades	Valor
Diámetro exterior	<20 nm
Diámetro Interior	4 nm
Densidad	2,1 gr/cm^3
Pureza	>99 %
Longitud	1-12 um
Módulo de Elasticidad	950 GPa
Módulo de Corte	400 GPa
Suministro	Polvo seco

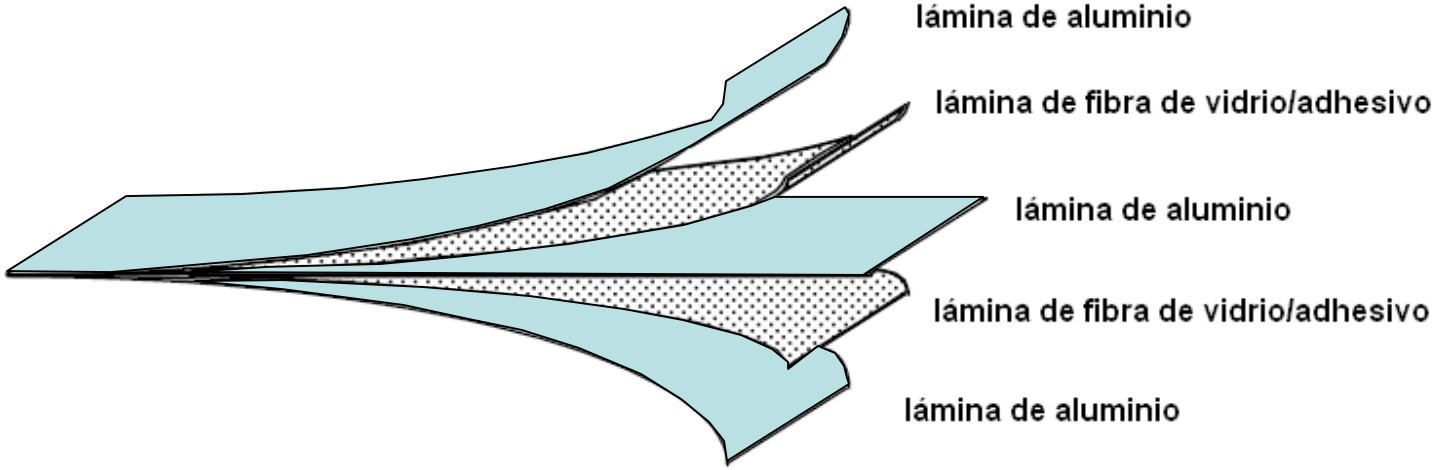
NTC a 30000x

MATERIALES INVESTIGADOS:

ARALL (ALUMINIUM ARAMIDE LAMINATE)

GLARE (GLASS ALUMINIUM REINFORCED)



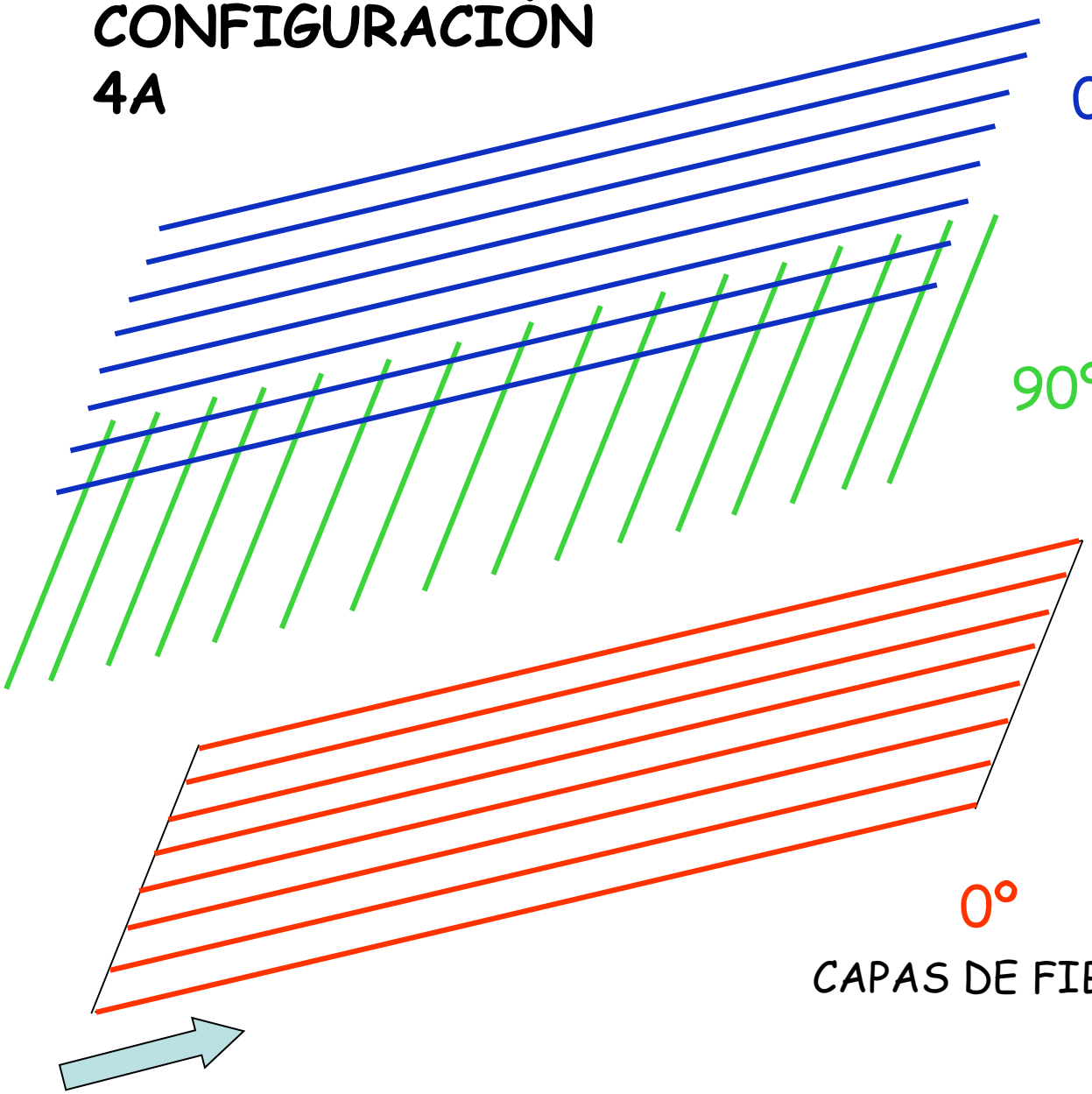


Ejemplo de nomenclatura: GLARE 4A-5/4--4

- cada lámina de aluminio: t = 0,4 mm
- 5 láminas de aluminio, 4 capas de fibra en configuración GLARE 4

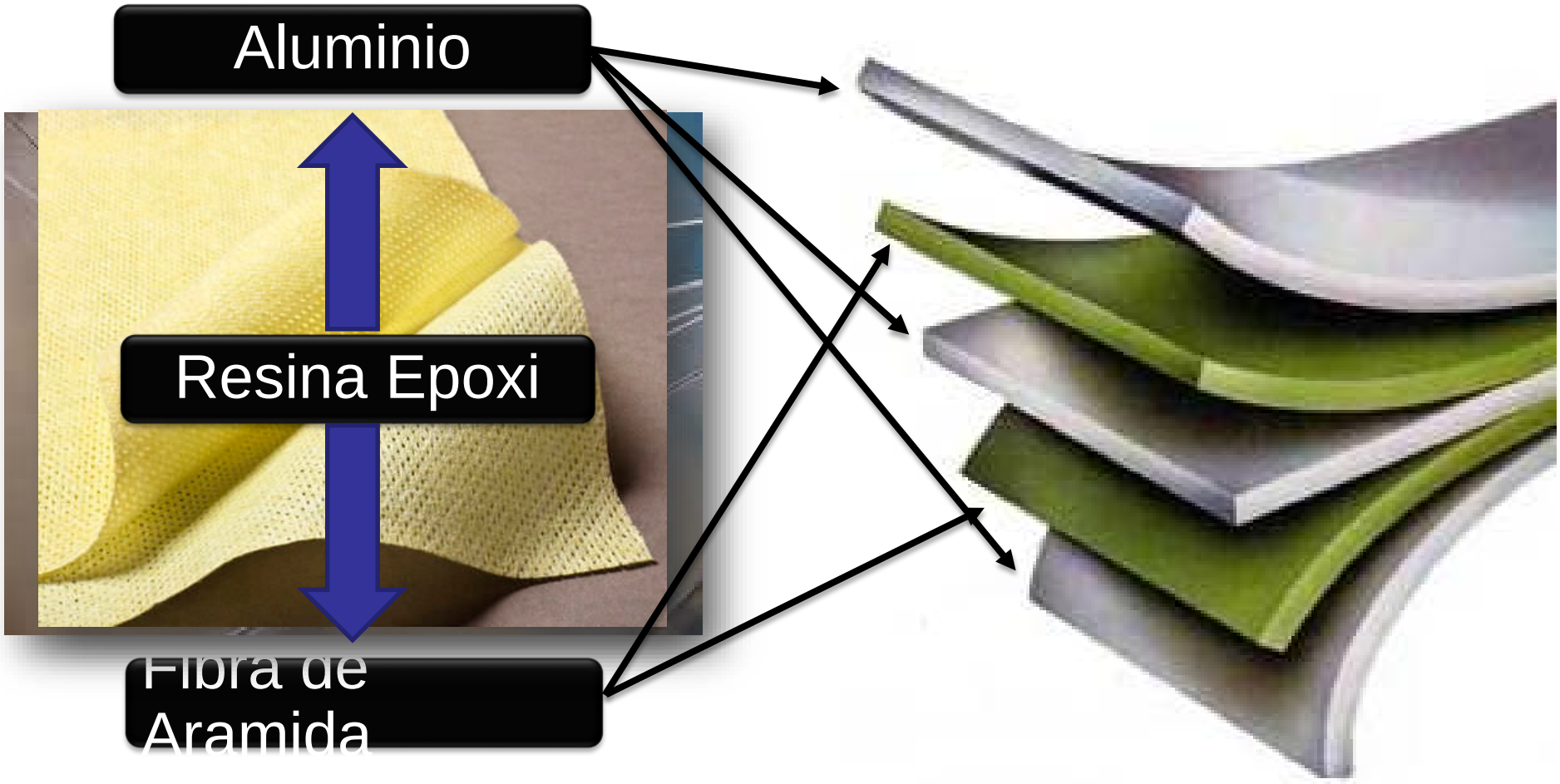
GLARE 4A-5/4-4

CONFIGURACIÓN 4A



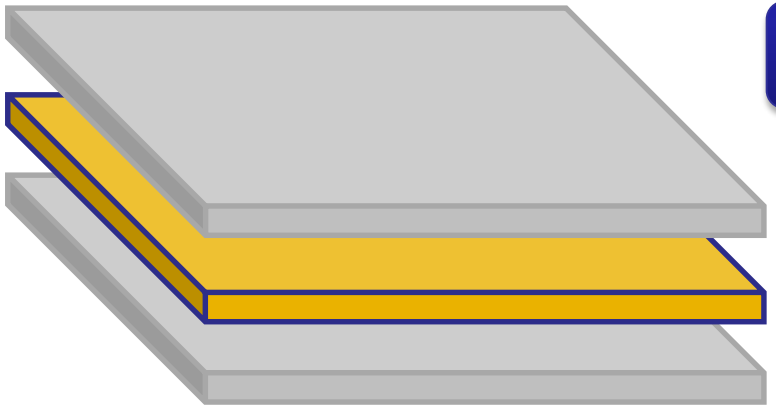
Dirección de laminación de la lámina de Al 2024 T3

ARALL (ALUMINIUM ARAMIDE LAMINATE)



DISTINTAS CONFIGURACIONES DE ARALL

Laminado	Espesor del laminado (mm)	Fracción en volumen del metal	Densidad (g/cm^3)
2/1	0,81	0,738	2,35
3/2	1,35	0,679	2,30
4/3	1,88	0,653	2,27
5/4	2,39	0,638	2,24

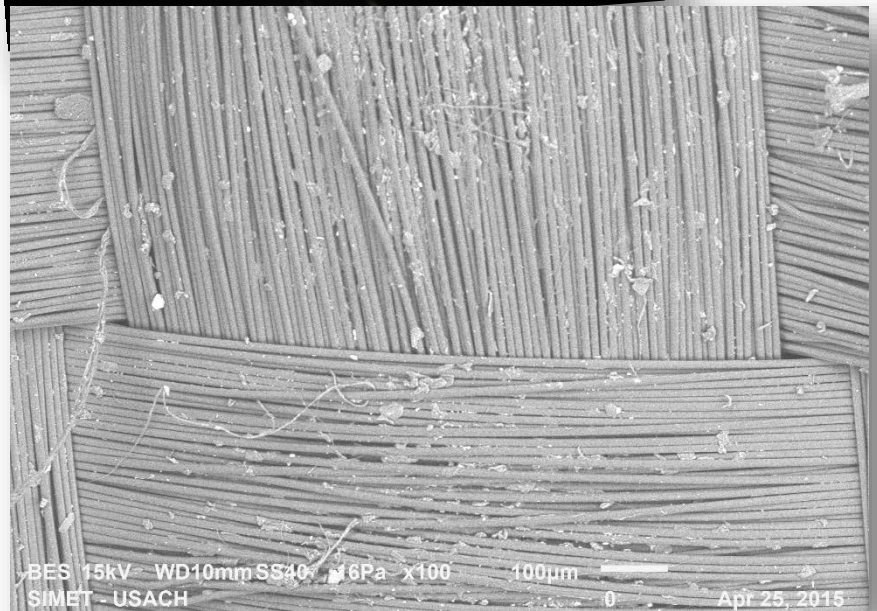


Laminado 2/1

Espesor del Núcleo: 0,4 mm

Espesor del Aluminio: 0,55 mm

Fibra de Aramida



Diámetro
5-15 micrómetros

Propiedades	Valor
Peso	360 gr/m^2
Espesor	0,4 mm
Max esfuerzo en tensión	2,8 GPa
Absorción de humedad	0,60%
Max Elongación	11%
Módulo de Elasticidad	120 GPa

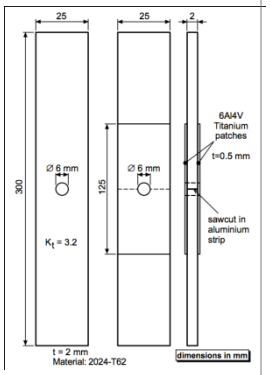
ANTECEDENTES

Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium
National Aerospace Laboratory NLR

NLR-TP-2002-294

Patch repair of cracks in the upper longeron of an F-16 aircraft of the Royal Netherlands Air Force (RNLAF)

W.G.J. 't Hart and J.A.M. Boogers



Australian Government
Department of Defence
Defence Science and
Technology Organisation

Environmental Durability Trial of Bonded Composite Repairs to Metallic Aircraft Structure

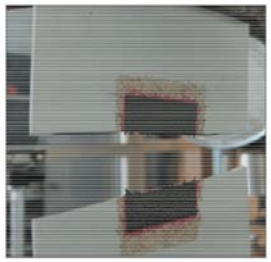
Andrew Rider, Ian Williams Ed Shum and Leo Mirabella

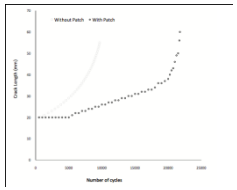
Air Vehicles Division
Platforms Sciences Laboratory

DSTO-TR-1685

Bonded Composite Patch Repairs on Cracked Aluminum Plates: Theory, Modeling and Experiments

Fabrizio Ricci, Francesco Franco and Nicola Montefusco
University of Naples "Federico II", Department of Aerospace Engineering
Italy



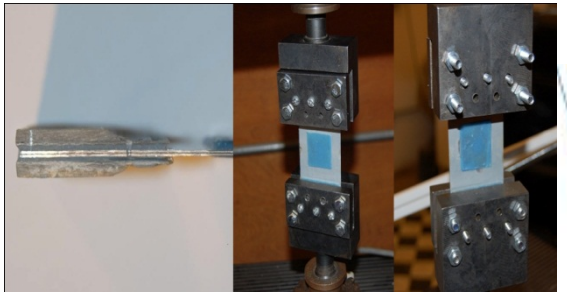


REPAIRING GLARE SHEETS SUBJECTED TO BALLISTIC IMPACT

A. Monsalve [1,2], J. Loyola [2], A. Artigas[1], L. Carvajal[1] and O. Bustos[1]

(1) Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile, Casilla 10233, Santiago, Chile.

(2) Academia Politécnica Aeronáutica, Fuerza Aérea de Chile



Composites Science and Technology 71 (2011) 31–38

Composites Science and Technology 70 (2010) 901–908

Contents lists available at ScienceDirect

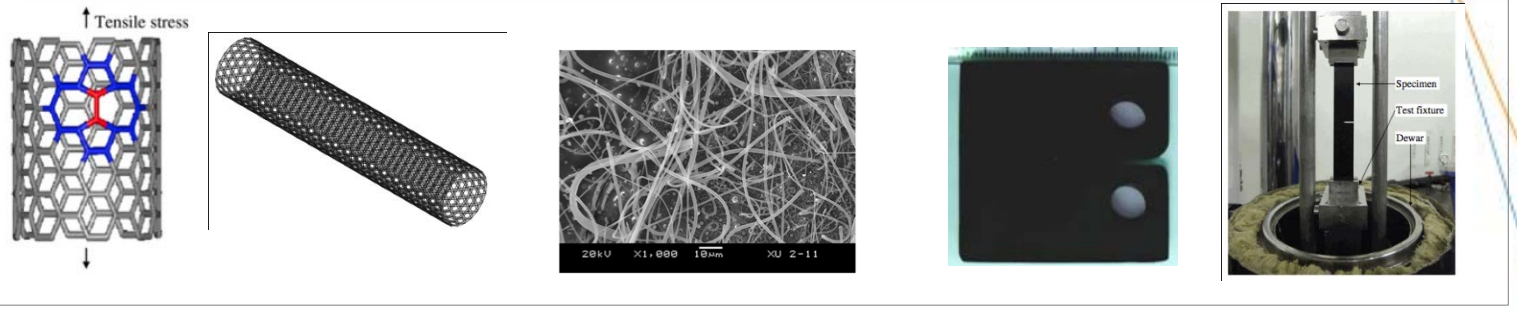
Composites Science and Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/compscitech

Enhancement of delamination fatigue resistance in carbon nanotube reinforced glass fiber/polymer composites

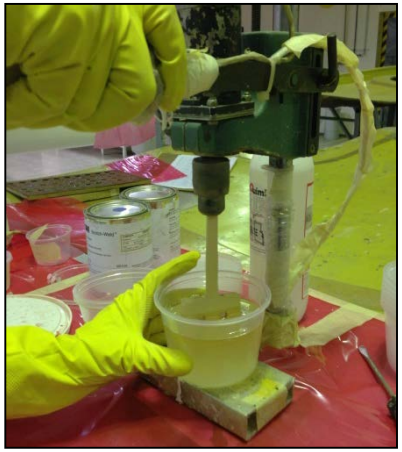
Christopher S. Grimmer, C.K.H. Dharan *

Department of Mechanical Engineering, University of California, Berkeley, CA 94720-1740, USA



ARALL:

SE FABRICÓ EN EL TALLER DE MATERIALES COMPUESTOS DE LA EMPRESA NACIONAL DE AERONÁUTICA

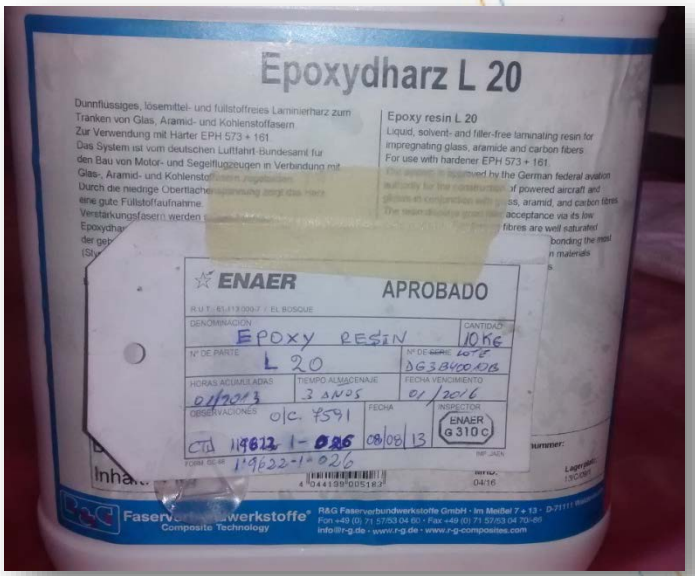


FABRICACION DE ARALL Y GLARE

Resina Epoxi

Resina Epoxi L20 + Endurecedor EPH 161

Propiedades	Valor
Densidad	1,158 gr/cm^3
Resistencia a Tensión	70,2 MPa
Elongación Máxima	9,5 %
Módulo de Elasticidad	3,4 GPa
Módulo de Corte	1019 MPa



FABRICACIÓN

Configuración 1

50 rpm – 120 seg

FABRICACIÓN

Configuración 2 y 3

Endurecedor + Polvo de NTC

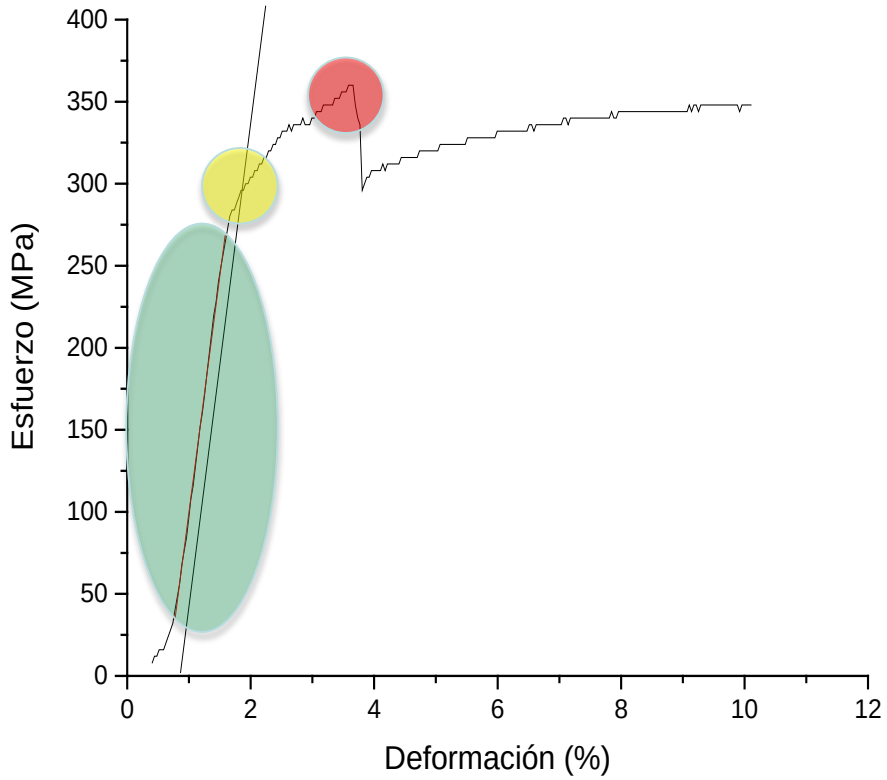
10-15 minutos
Maquina
Ultrasonido
ELMA S30

FABRICACIÓN

Configuración 2 y 3

ENSAYO DE TRACCIÓN

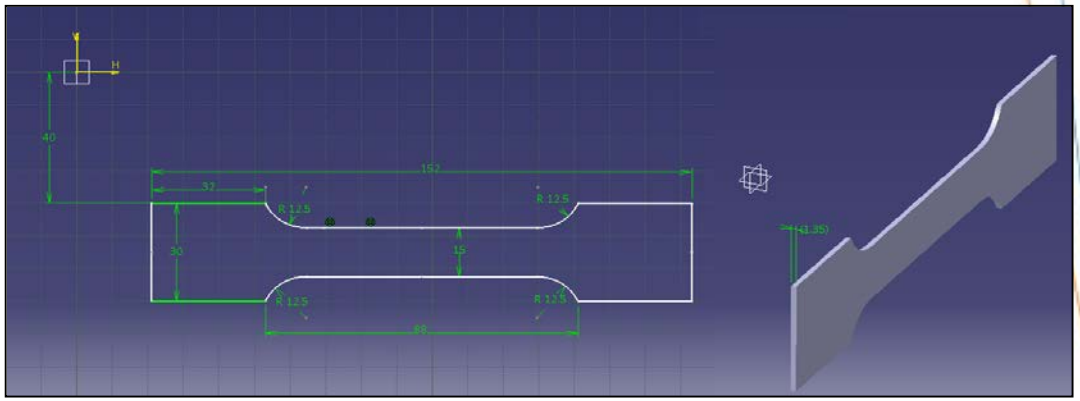
ASTM D3552-12, "Standard Test Method for Tensile Properties of Fiber Reinforced Metal Matrix Composites"

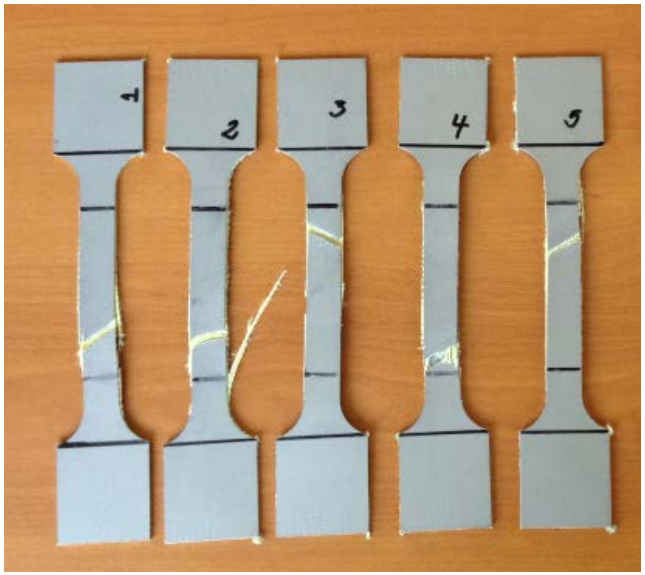


Ensayo de Tracción

- Ensayo más común en materiales compuestos
- Representación en curvas Esfuerzo - Deformación
- Módulo de elasticidad
- Límite de Fluencia
- Esfuerzo tensil máximo

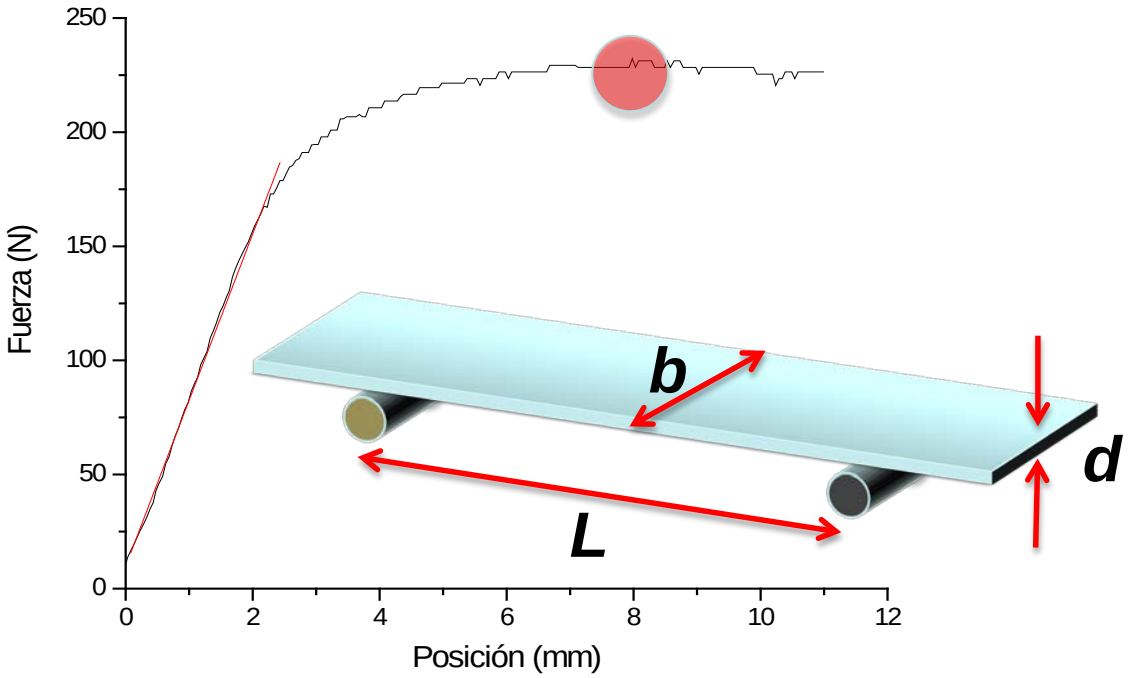
FABRICACIÓN DE PROBETAS PARA ENSAYO DE TRACCIÓN





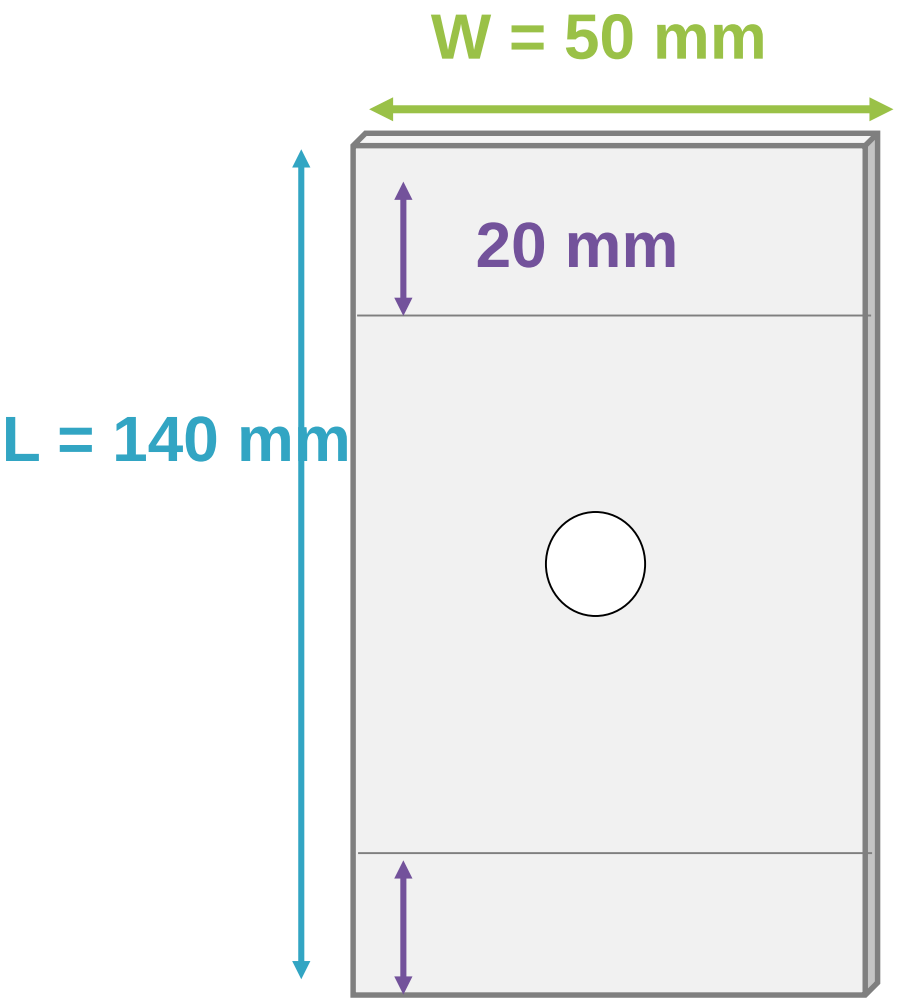
ENSAYO DE FLEXIÓN

ASTM D790-10 "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials"



- Flexión de tres o cuatro puntos
- Representación por curva Fuerza-Deflexión
- Carga máxima
- Módulo de elasticidad

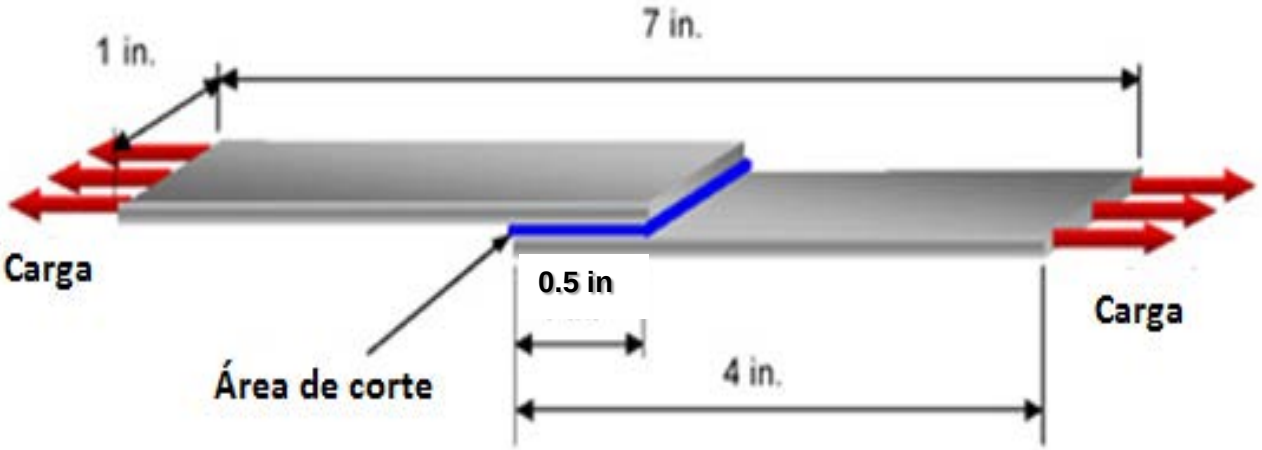
ENSAYO DE FATIGA



Norma ASTM E647 "Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates",

ENSAYO LAP-SHEAR

- Esfuerzo de corte soportado por la resina
- Carga máxima
- Máximo esfuerzo de corte



RESULTADOS

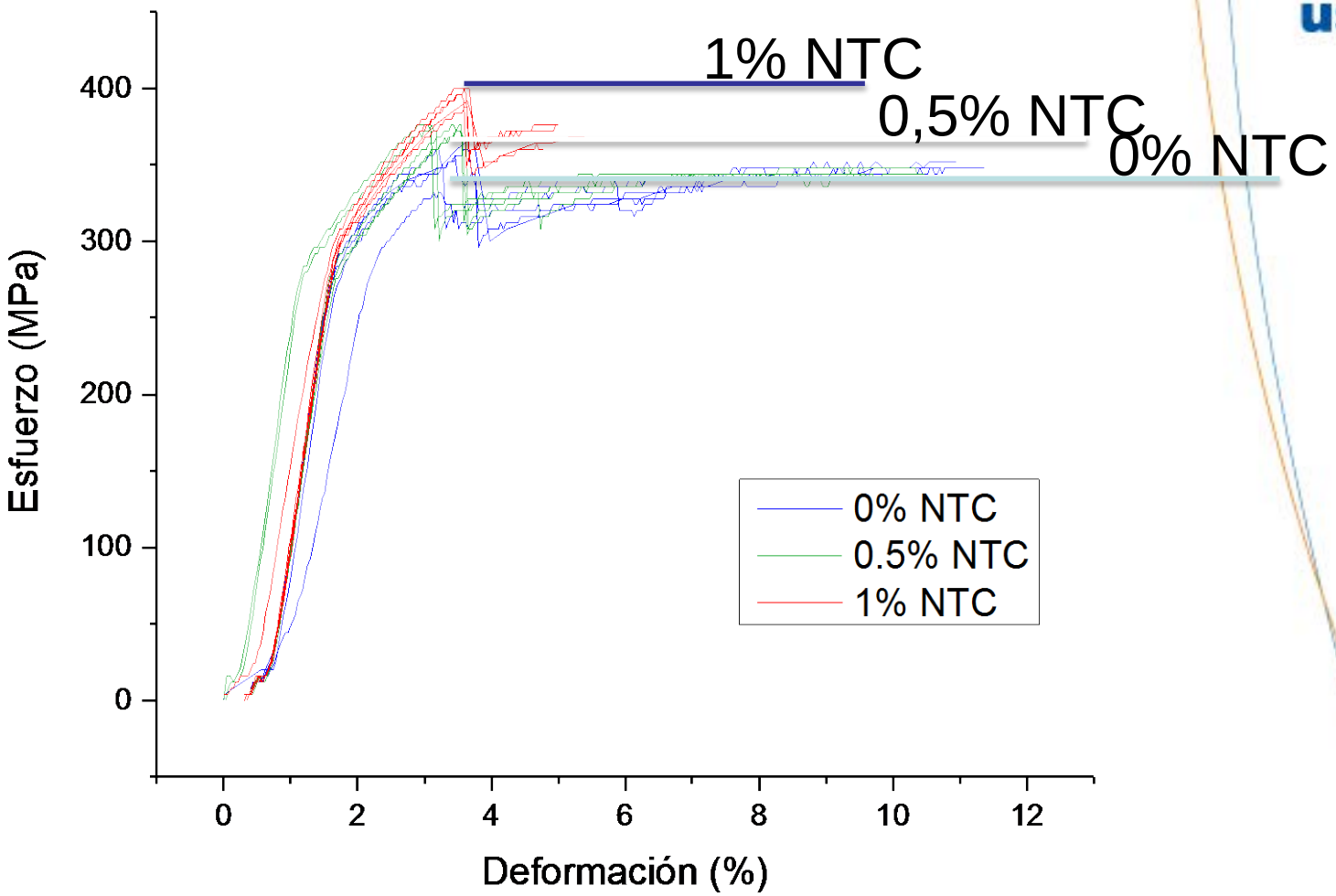
GLARE 0-0,5 y 1% NTC

Tracción, Flexión y Lap-Shear de GLARE

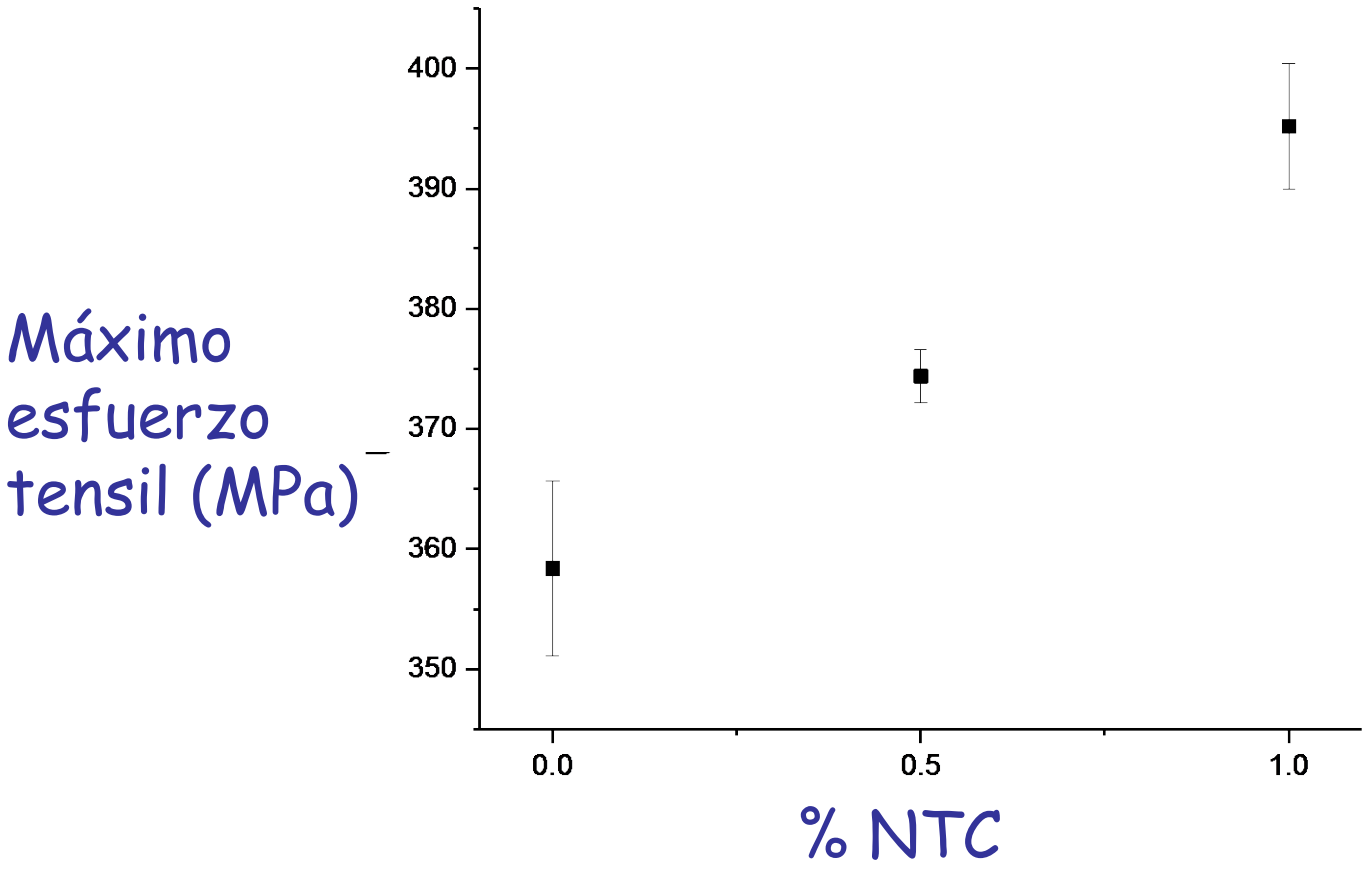
ARALL 0-0,5 y 1% NTC

Impacto balístico y Fatiga de ARALL

Resultados de ensayos de tracción en GLARE

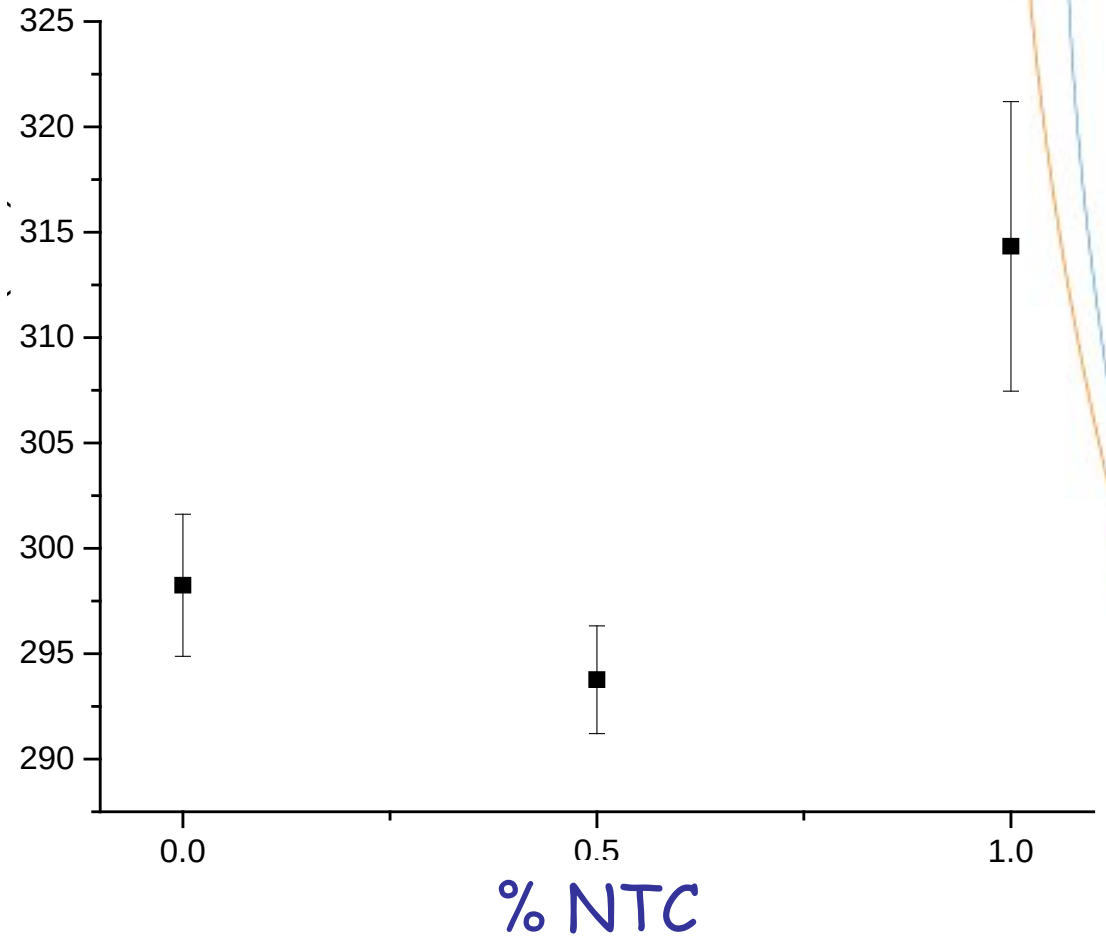


Resultados de ensayos de tracción en GLARE



Resultados de ensayos de tracción en GLARE

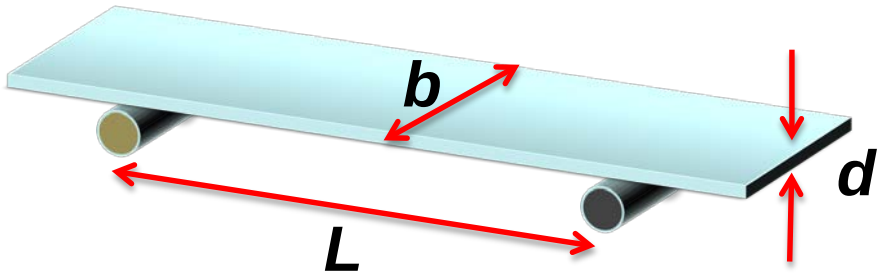
Límite de Fluencia



Resultados de ensayos de flexión en GLARE

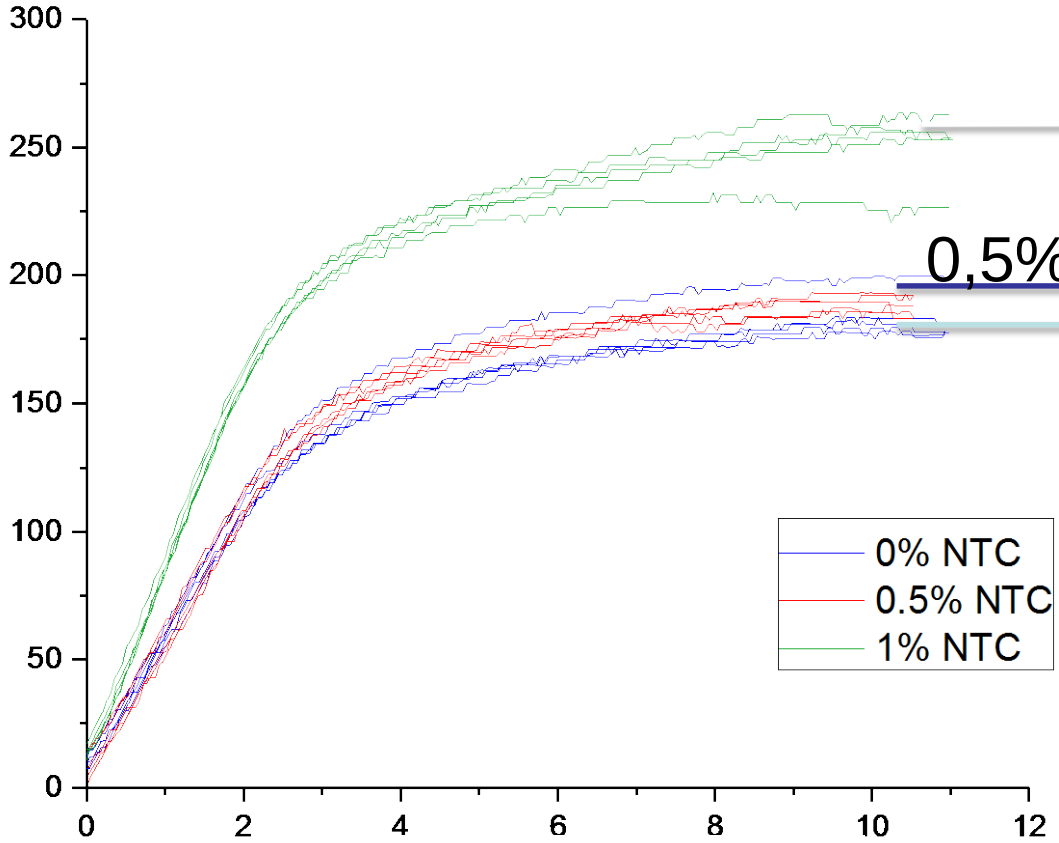
Módulo de Elasticidad

$$E_B = \frac{L^3 m}{4bd^3}$$



Resultados de ensayos de flexión en GLARE

Fuerza (N)



1% NTC

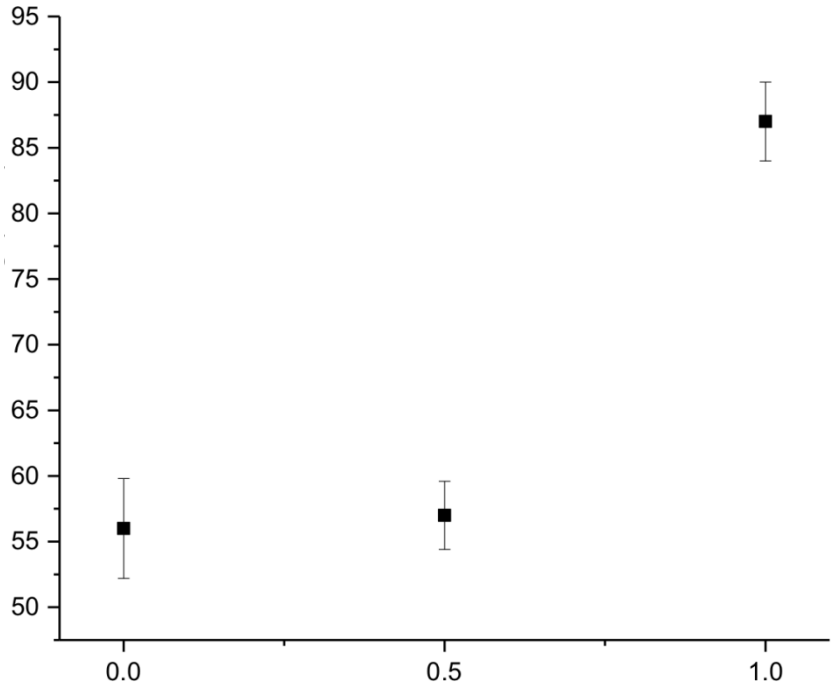
0,5% NTC

0% NTC

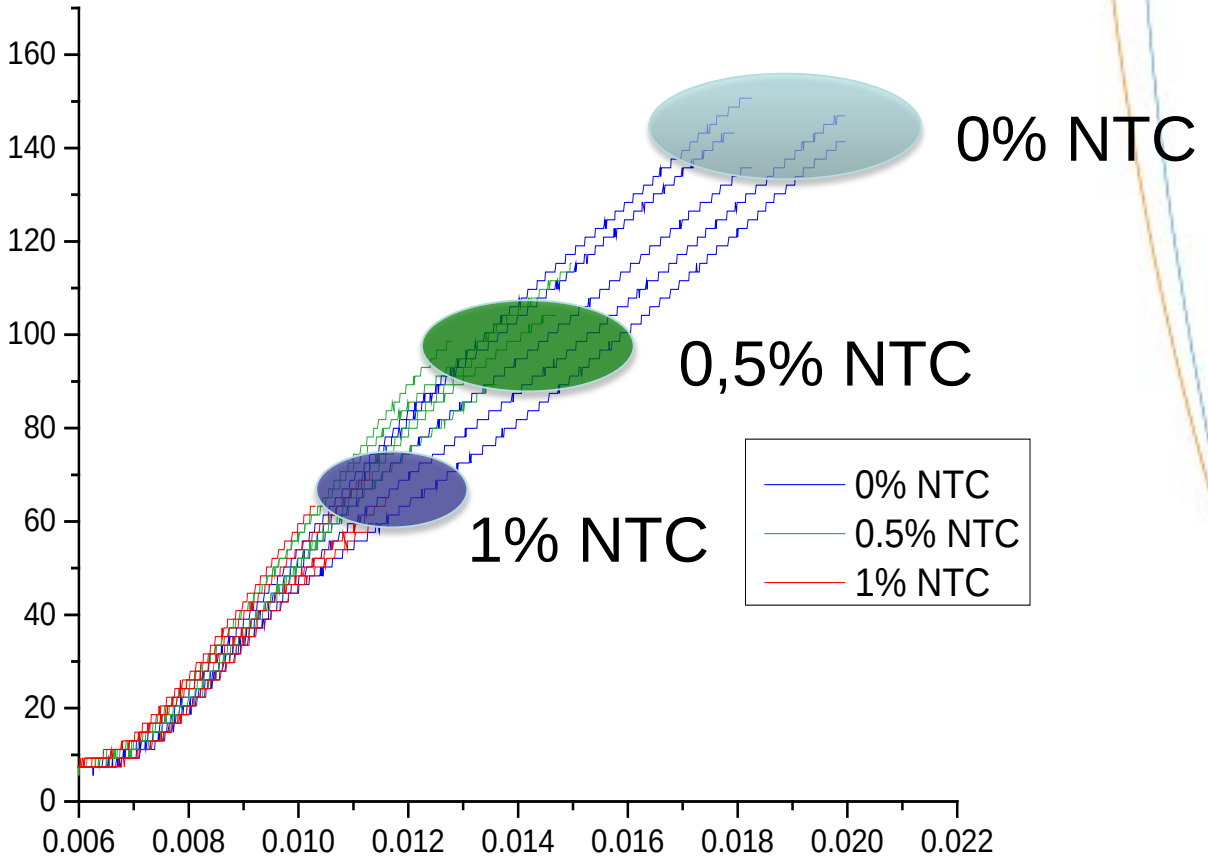
Resultados de ensayos de flexión en GLARE

Módulo de Young

Módulo de Young (GPa)



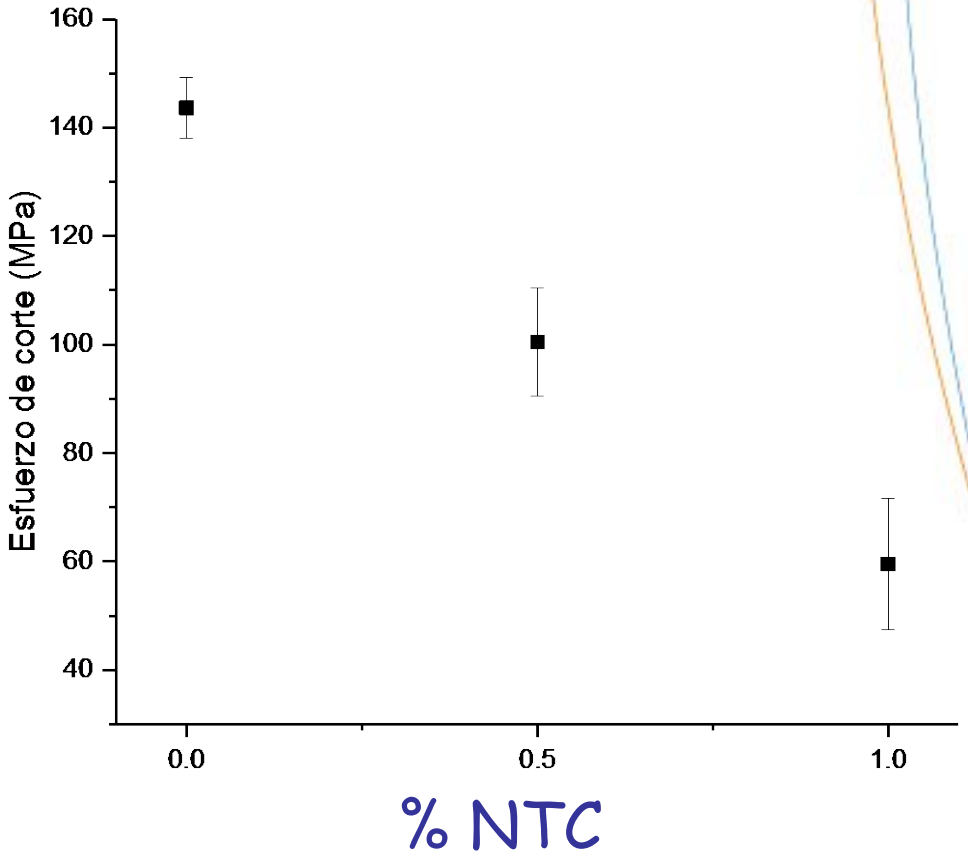
Resultados de ensayos de Lap-Shear en GLARE



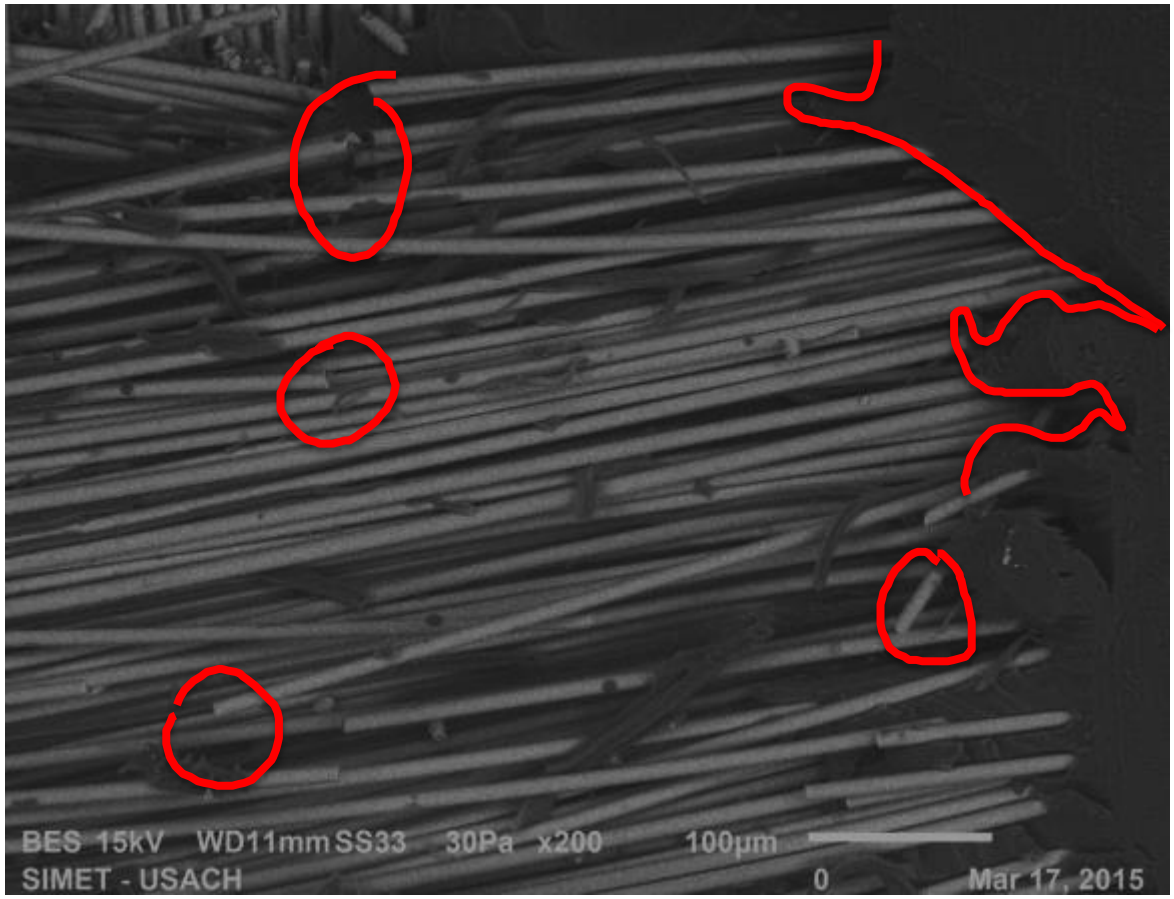
Resultados de ensayos de Lap-Shear en GLARE

Ensayo Lap-Shear

Esfuerzo máximo (MPa)

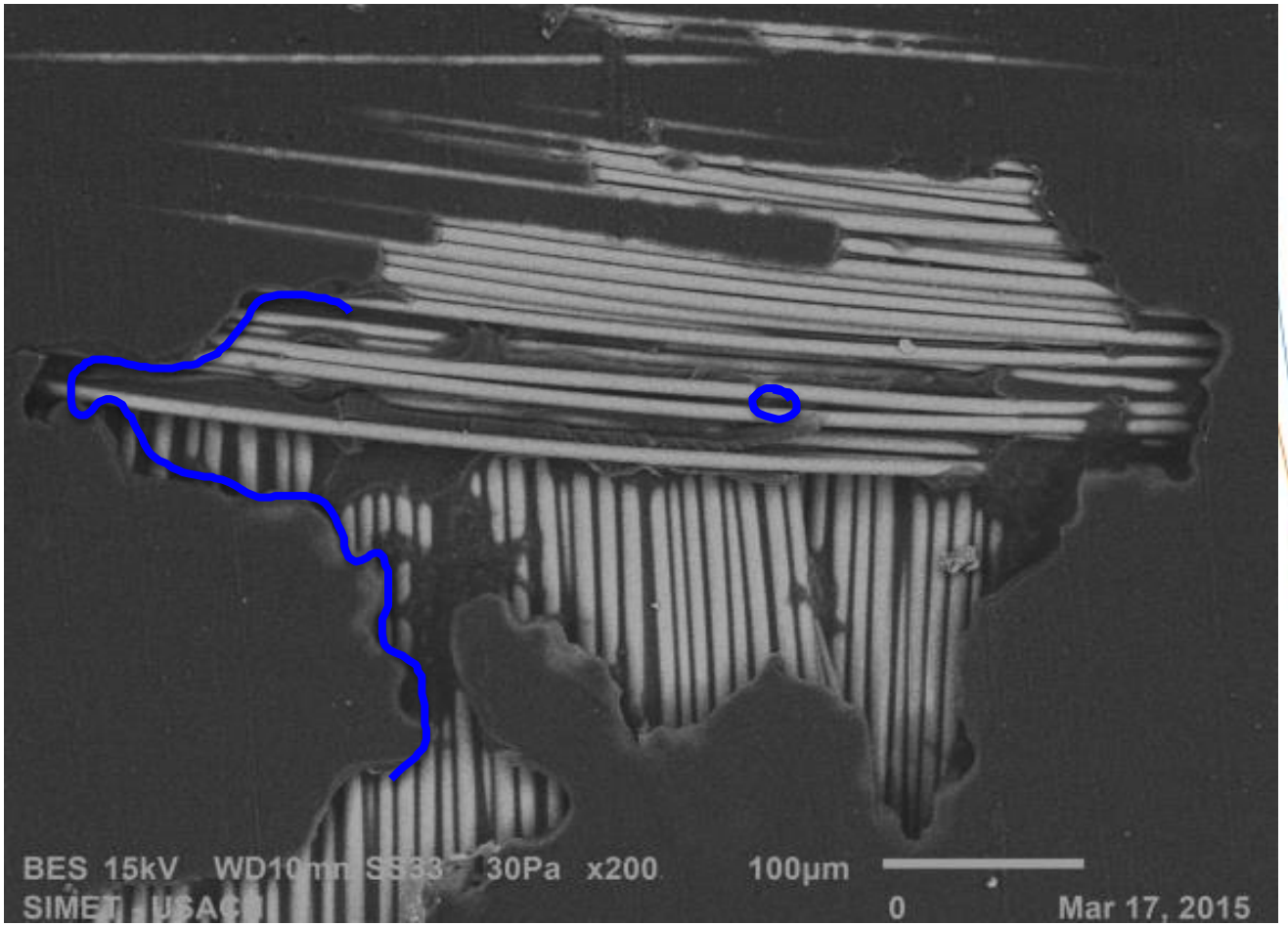


Análisis por microscopía electrónica de barrido en GLARE



Probeta de Lap-Shear 0% NTC a un aumento de 200X

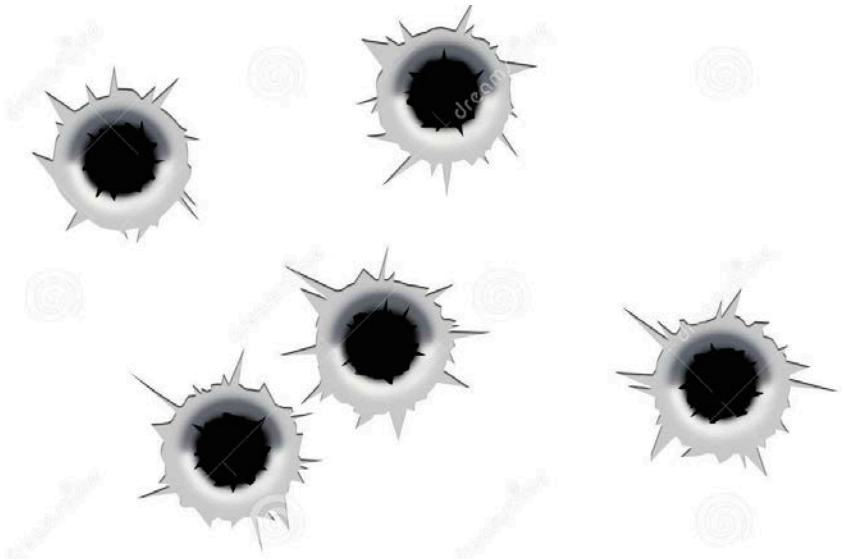
Análisis por microscopía electrónica de barrido en GLARE



Probeta de Lap-Shear 1% NTC a un aumento de 200X

IMPACTO BALÍSTICO EN ARALL

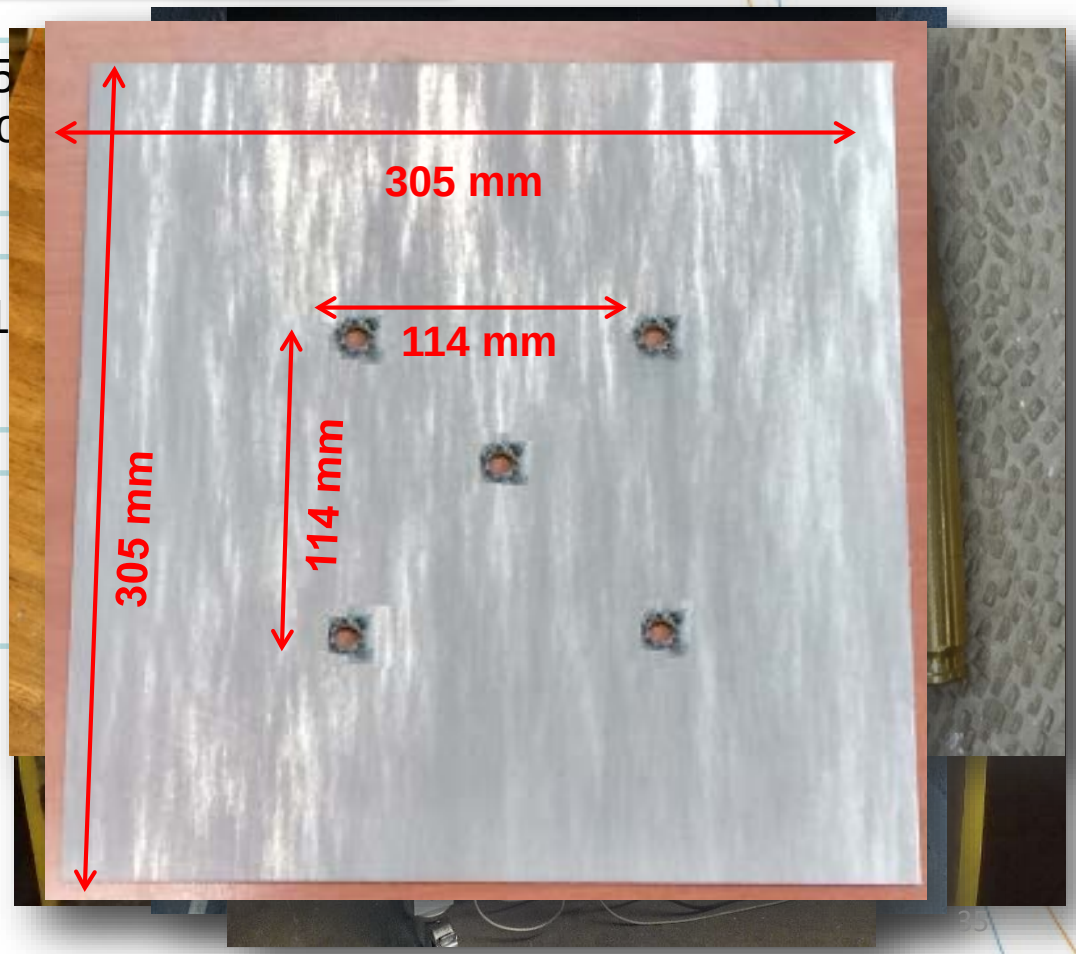
Norma UL- 752 Nivel 8



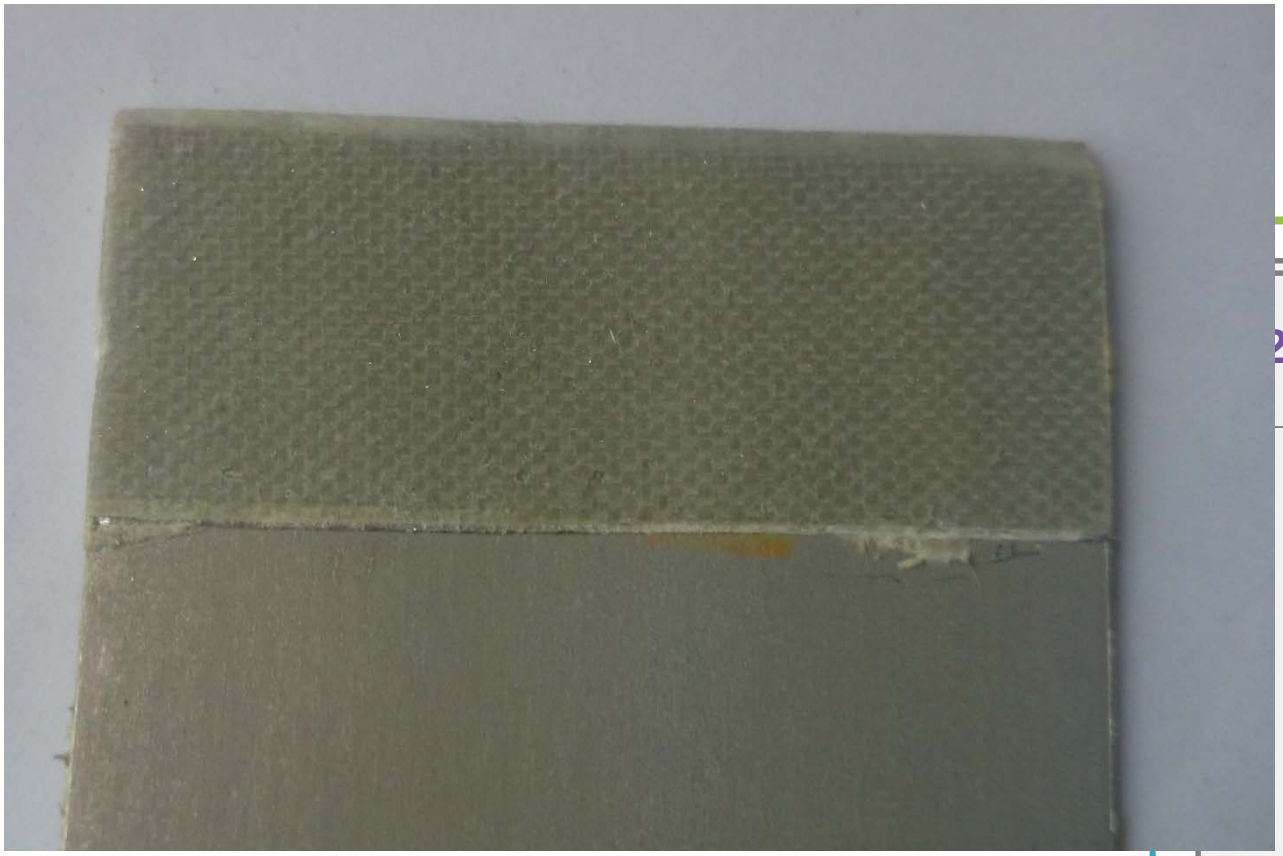
IMPACTO BALÍSTICO Y FATIGA DE ARALL

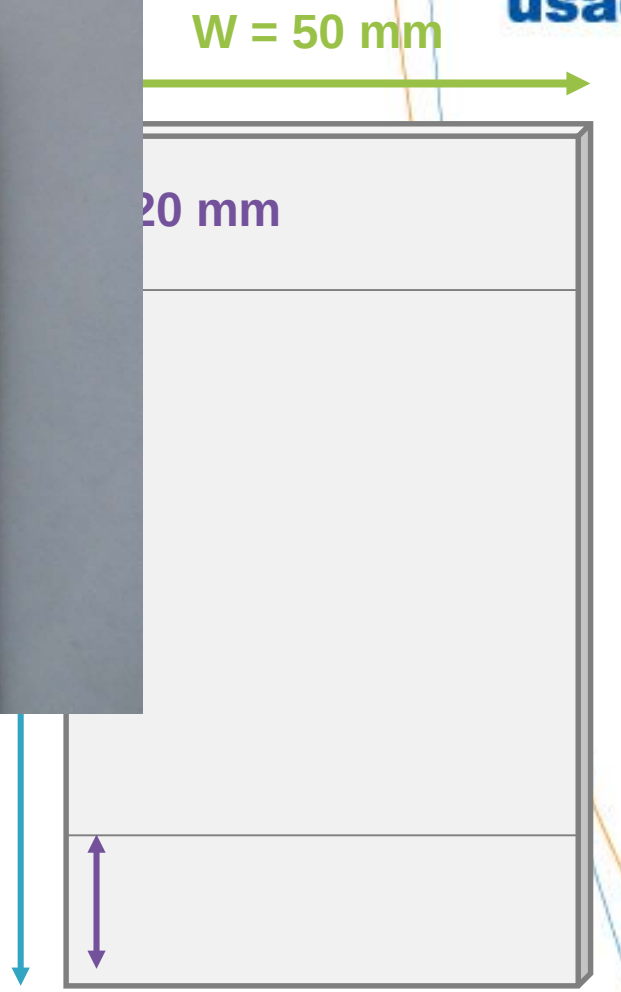
Impacto Balístico

- Norma UL- 752 Nivel 8
- Munición 7,62x51 mm
- Probeta de 305x305 mm
- 5 impactos
- 15 metro de distancia
- Velocidad min 838 m/s

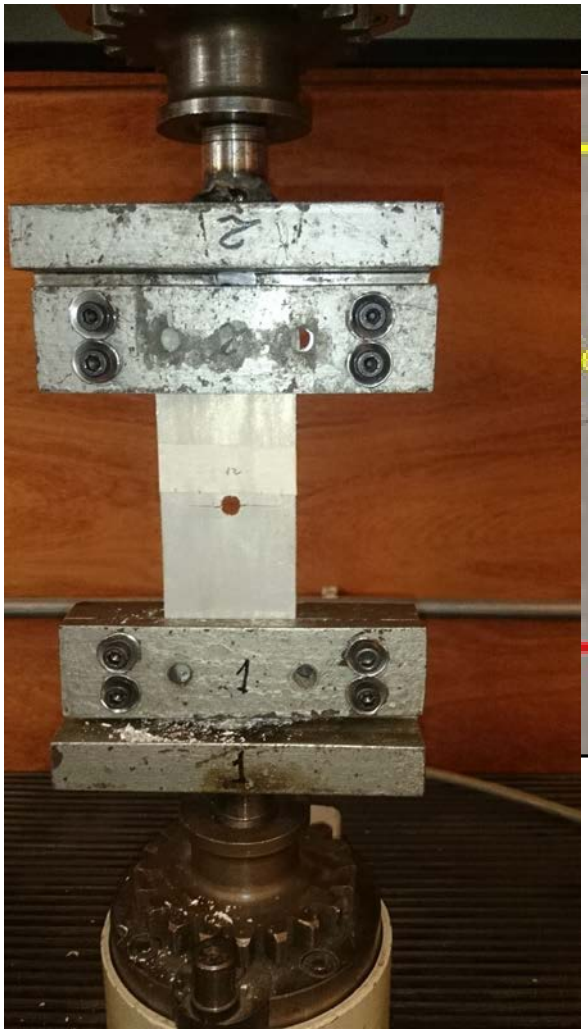


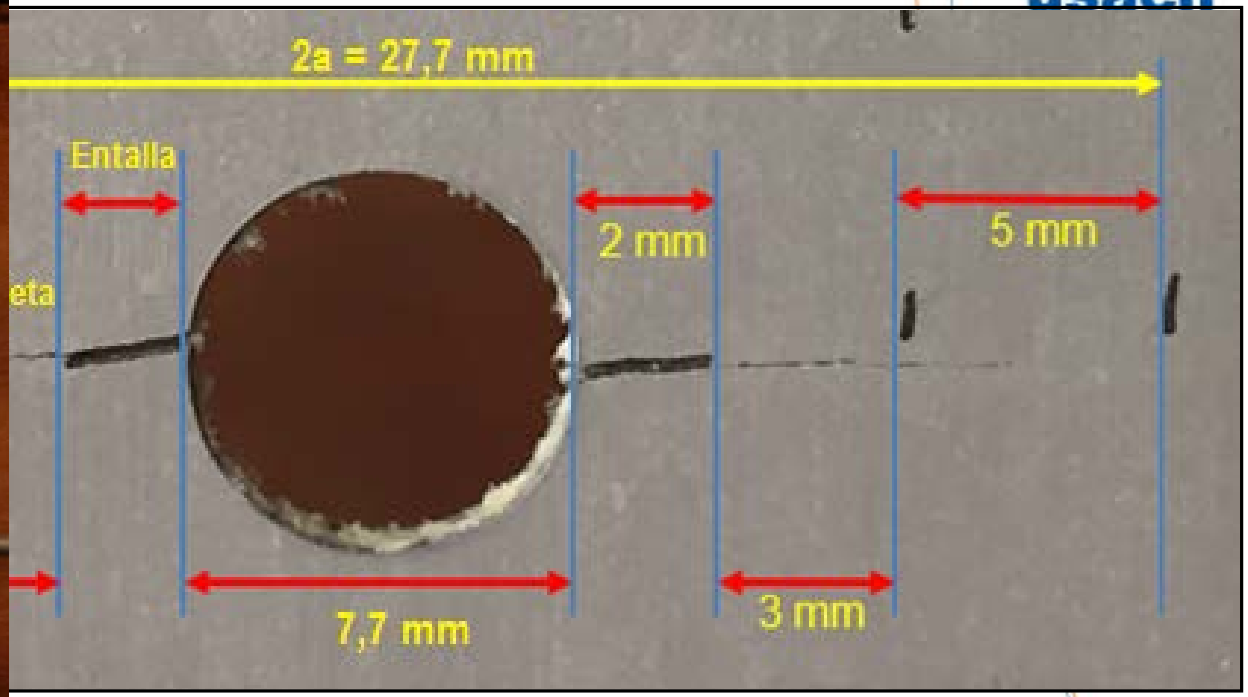
Diseño de probetas





Metodología de ensayo

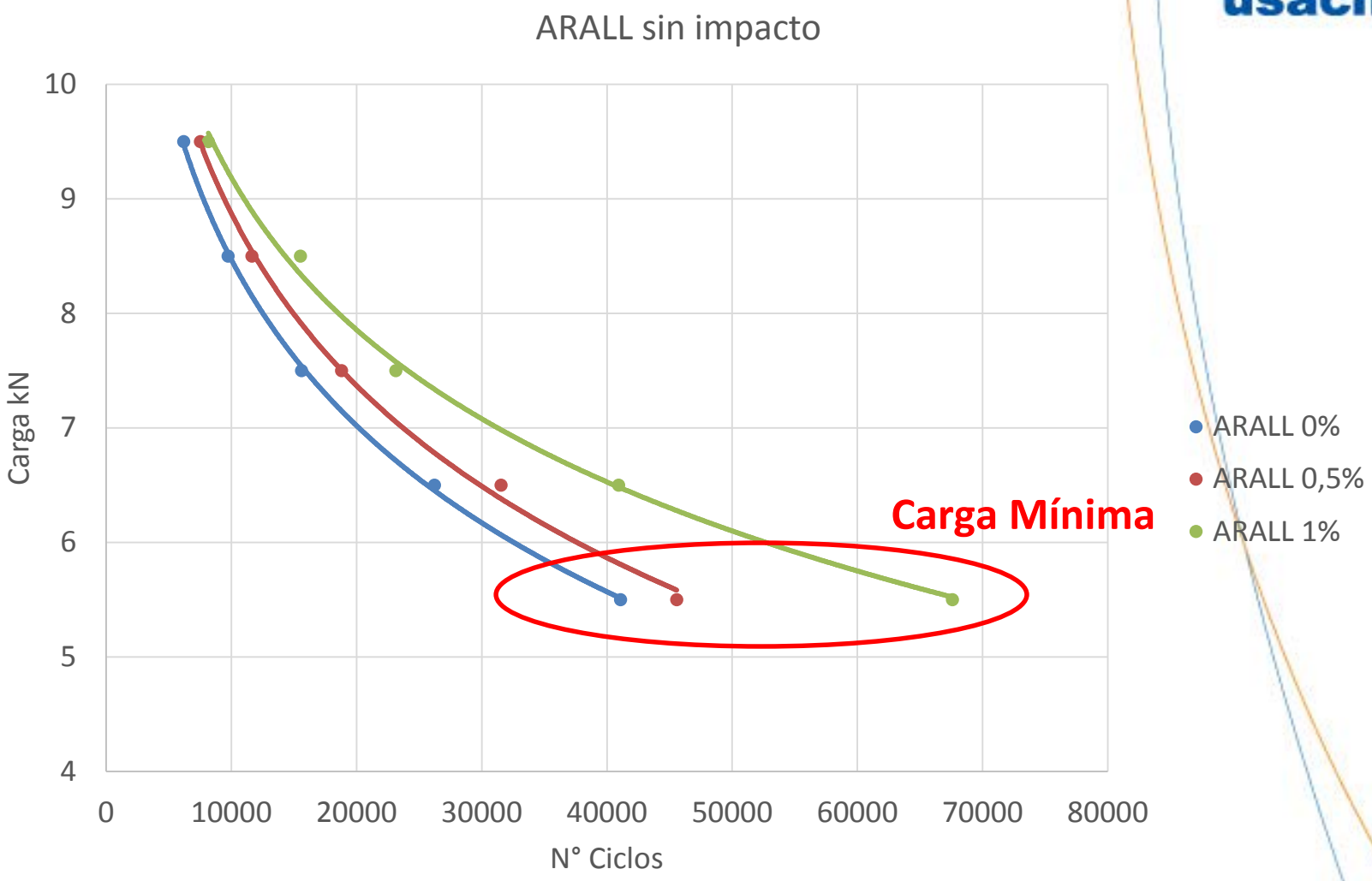


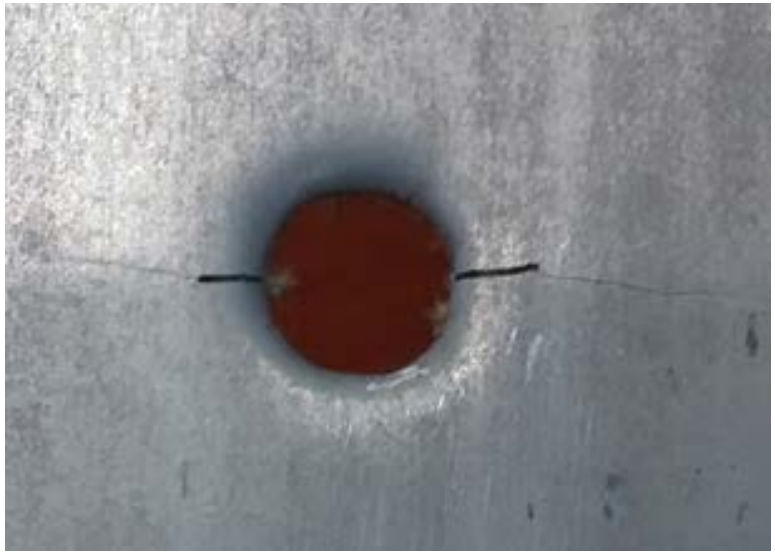


$$0{,}45W \leq 2a \leq 0{,}55W$$

$$22{,}5mm \leq 2a \leq 27{,}5mm$$

Análisis y Resultados

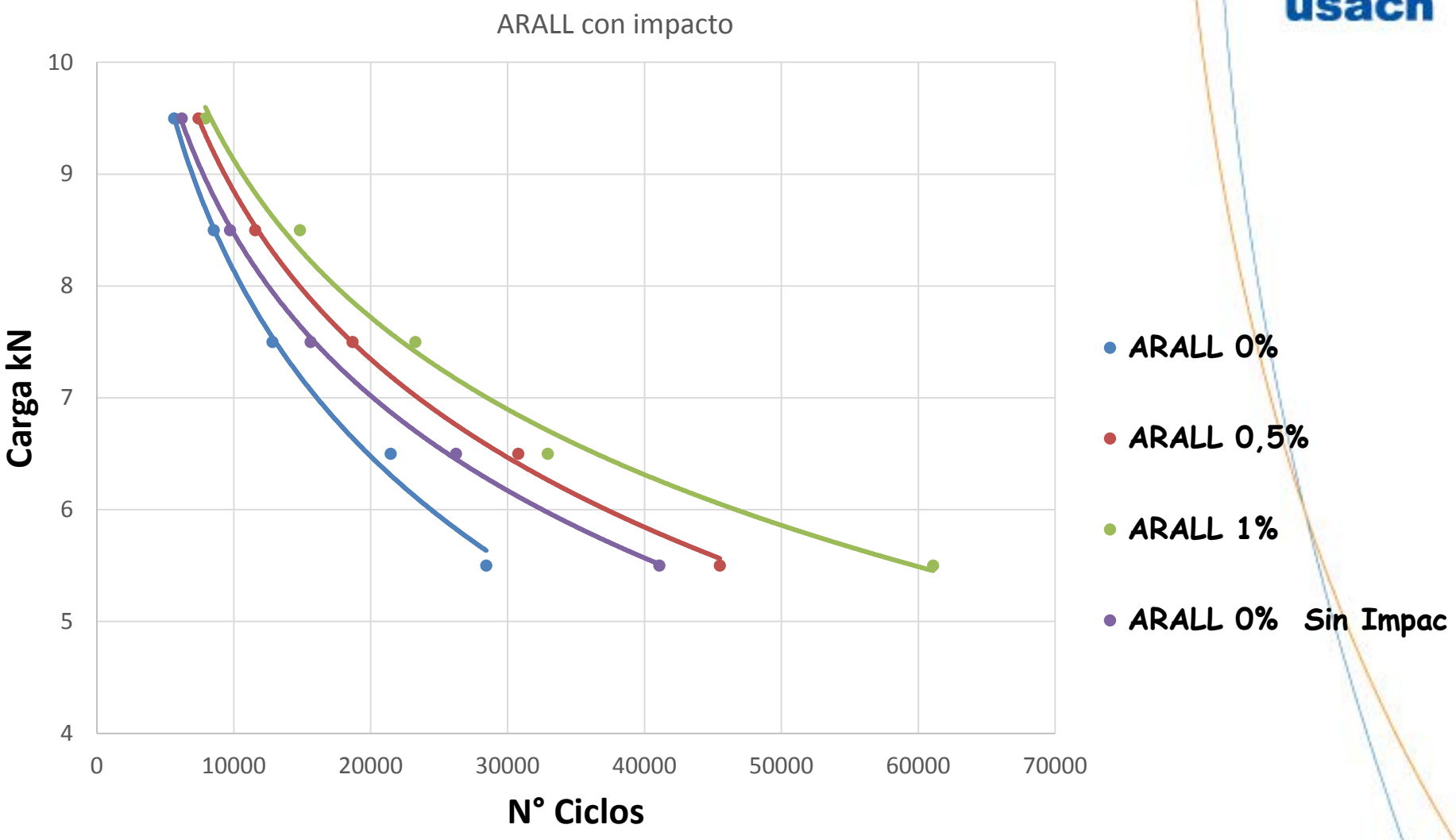





0% NTC


1% NTC

ARALL CON IMPACTO



Conclusiones

Tanto en GLARE como en ARALL, la incorporación de NTC a la resina, mejora significativamente el desempeño de ambos materiales.

Se debe seguir investigando para averiguar aspectos importantes del sistema resina epóxica más nanotubos de carbono.

Trabajo futuro

Usar Grafeno como reforzante.

Alberto Monsalve, Luis Parra, Diego Baeza, Roberto Solís, Humberto Palza, Mechanical properties and morphological characteristics of ARALL reinforced with TRGO doped epoxy resin, Materia, Vol 57, N° 13, 223-232

Alberto Monsalve, Roberto Solís, Mauricio Díaz,Sebastián Carrasco, Alfredo Artigas, Multi-walled carbon nanotube reinforced polymer a bonded repair for Al 2024-T3 fatigue crack growth , Materia, Vol 57, N° 13, 233-239

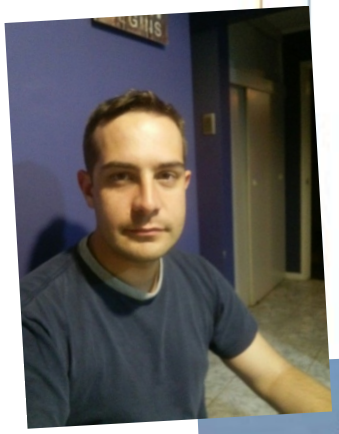
El equipo:

Felipe Morales
Andrea Maturana

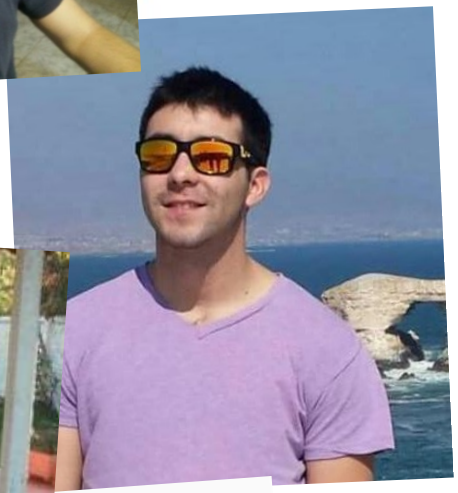
Sebastián Carrasco
Mauricio Díaz

Allan Asenjo
Felipe Von Hausen
Christhoper Haertwig

Roberto Solís



usach



AGRADECIMIENTOS

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE (USACH)

ACADEMIA POLITÉCNICA AERONÁUTICA(APA)

AIR FORCE OFFICE FOR SCIENCE RESEARCH (AFOSR)

Gracias por la atención