

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E**  
**INGENIERÍA METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**“INFLUENCIA DE LA HUMEDAD DEL AIRE EN LOS  
ELECTRODOS DE SOLDADURA SMAW Y SU INCIDENCIA EN  
LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS SOLDADOS.”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ELDER GIANFRANCO PORTILLO DAVILA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

“INFLUENCIA DE LA HUMEDAD DEL AIRE EN LOS ELECTRODOS DE  
SOLDADURA SMAW Y SU INCIDENCIA EN LA CALIDAD DE LOS  
PRODUCTOS SOLDADOS.”

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

Bach. ELDER GIANFRANCO PORTILLO DAVILA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO METALURGISTA

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR**



PRESIDENTE:

  
Ing. BENITO HUGO FERNÁNDEZ OCHOA

PRIMER MIEMBRO:

  
Ing. EDGAR RUBÉN LUQUE CHOQUE

SEGUNDO MIEMBRO:

  
Ing. PEDRO TIBURCIO HUALPA CHOQUE

DIRECTOR/ASESOR:

  
M.Sc. GERMAN COILLO COTRADO

**Tema** : Metalurgia transformativa  
**Área** : Metalurgia de la soldadura

**Fecha de sustentación:** 24 de octubre del 2018

## DEDICATORIA

Ahora que los sueños se hacen realidad, con esfuerzo y trabajo para mi realización profesional. Por eso quiero agradecer principalmente a Dios, a nuestro señor Jesucristo.

A mi familia: Mi madre, Agripina Dávila Laruta; a mi esposa Stefhanie Apaza Marrón; y especialmente a mis dos menores hijos Laynod Gianfranco y Adriano Gabriel por toda la fortaleza, confianza y apoyo que me dan a quienes agradezco de todo corazón, por su amor, cariño, comprensión y acompañarme en cada momento de mi vida.

También dedico este trabajo a mi difunta abuela Genoveva Laruta Vda. de Davila.

## AGRADECIMIENTOS

- A Dios por guiarme, protegerme, cobijarme cuando lo necesitaba y por fortalecerme para salir adelante, llevándome a un camino del bien.
- La realización de esta tesis es un trabajo muy arduo en el cual han contribuido muchas personas entre amistades, docentes, y profesionales de la materia en la cual estaré agradecido con cada uno de ellos por el interés y voluntad que me brindaron para concluirlo este trabajo de investigación satisfactoriamente.

**ÍNDICE GENERAL**

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii

**CAPÍTULO I****INTRODUCCIÓN**

1.1. HIPÓTESIS DEL TRABAJO .....	4
1.2. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4

**CAPÍTULO II****REVISIÓN DE LITERATURA**

2.1. REFERENCIAS TEORICAS.....	5
2.1.1. Soldadura por arco de metal protegido (SMAW) .....	5
2.1.2. Principios de funcionamiento .....	6
2.1.3. Protección del arco .....	9
2.1.4. Ventajas del proceso SMAW .....	10
2.1.5. Desventajas del proceso SMAW.....	11
2.1.6. Espesores.....	11
2.1.7. Descripción del electrodo.....	12
2.1.8. Funciones de la cobertura del electrodo .....	12
2.1.9. Selección del electrodo adecuado .....	13
2.1.10. Almacenamiento de electrodos.....	14
2.1.11. Condiciones de mantención de electrodos .....	16

2.1.12. Funciones del revestimiento .....	16
2.1.13. Clasificación.....	18
2.1.14. Manejo de electrodos.....	21
2.1.15. Almacenamiento de electrodos.....	23
2.1.16. Condiciones generales del depósito .....	27
2.1.17. Recomendaciones para el almacenamiento .....	28
2.1.18. Reacondicionamiento o resecado de electrodos .....	29
2.1.19. Hornos para restauración .....	31
2.1.20. Defectos de soldadura .....	31
2.2. ANTECEDENTES .....	34

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. MATERIALES.....	37
3.1.1. Técnica .....	37
3.1.2. Infraestructura.....	37
3.1.3. Equipos e insumos.....	37
3.1.4. Tecnología .....	38
3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....	38
3.2.1. Enfoque investigativo.....	38
3.2.2. Modalidad básica de investigación .....	39
3.3. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	39
3.3.1. Descriptivo .....	39
3.3.2. Explicativo.....	40
3.3.3. Asociación de variables .....	40
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	40
3.5. PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	41
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	42

## CAPÍTULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	PRUEBA DE REDUCCION DE HUMEDAD DEL ELECTRODO DE BAJO HIDROGENO E7018 SUMERGIDO EN AGUA.....	44
4.1.1.	Prueba de reducción de humedad a 50 °C .....	45
4.1.2.	Prueba de reducción de humedad a 100 °C .....	48
4.1.3.	Prueba de reducción de humedad a 200 °C .....	49
4.1.4.	Prueba de reducción de humedad a 300 °C .....	51
4.1.5.	Prueba de reducción de humedad a 350 °C .....	52
4.1.6.	Análisis de resultados del electrodo de bajo hidrogeno E7018 sumergido en agua .....	54
4.2.	PRUEBA DE REDUCCION DE HUMEDAD DEL ELECTRODO RUTILICO E6013 SUMERGIDO EN AGUA .....	55
4.2.1.	Prueba de reducción de humedad a 30 °C .....	57
4.2.2.	Prueba de reducción de humedad a 45 °C .....	58
4.2.3.	Prueba de reducción de humedad a 60 °C .....	60
4.2.4.	Prueba de reducción de humedad a 100 °C .....	61
4.2.5.	Prueba de reducción de humedad a 150 °C .....	63
4.2.6.	Análisis de resultados del electrodo Rutilico E6013 sumergido en agua.....	64
4.3.	PRUEBA DE REDUCCION DE HUMEDAD DEL ELECTRODO CELULOSICO E6011 SUMERGIDO EN AGUA .....	65
4.3.1.	Prueba de reducción de humedad a 30 °C .....	67
4.3.2.	Prueba de reducción de humedad a 40 °C .....	69
4.3.3.	Prueba de reducción de humedad a 60 °C .....	70
4.3.4.	Prueba de reducción de humedad a 80 °C .....	72
4.3.5.	Prueba de reducción de humedad a 100 °C .....	73
4.3.6.	Análisis de resultados del electrodo Celulosico E6011 sumergido en agua .....	74
4.4.	PRUEBA DE REDUCCION DE HUMEDAD DEL ELECTRODO DE BAJO HIDROGENO E7018 DEJADO A LA INTEMPERIE DURANTE 14 DIAS .....	75
4.4.1.	Prueba de reducción de humedad a 50 °C .....	77

4.4.2.	Prueba de reducción de humedad a 100 °C .....	79
4.4.3.	Prueba de reducción de humedad a 200 °C .....	80
4.4.4.	Prueba de reducción de humedad a 300 °C .....	82
4.4.5.	Prueba de reducción de humedad a 350 °C .....	83
4.4.6.	Análisis de resultados del electrodo de bajo hidrogeno E7018 dejado a la intemperie durante 14 días.....	85
4.5.	PRUEBA DE REDUCCIÓN DE HUMEDAD DEL ELECTRODO RUTILICO E 6013 DEJADO A LA INTEMPERIE DURANTE 14 DIAS.....	86
4.5.1.	Prueba de reducción de humedad a 30 °C .....	88
4.5.2.	Prueba de reducción de humedad a 45 °C .....	89
4.5.3.	Prueba de reducción de humedad a 60 °C .....	91
4.5.4.	Prueba de reducción de humedad a 100 °C .....	92
4.5.5.	Prueba de reducción de humedad a 150 °C .....	94
4.5.6.	Análisis de resultados del electrodo Rutilico E6013 dejado a la intemperie durante 14 días .....	95
4.6.	PRUEBA DE REDUCCIÓN DE HUMEDAD DEL ELECTRODO CELULOSICO E 6011 DEJADO A LA INTEMPERIE DURANTE 14 DIAS.....	96
4.6.1.	Prueba de reducción de humedad a 30 °C .....	98
4.6.2.	Prueba de reducción de humedad a 40 °C .....	100
4.6.3.	Prueba de reducción de humedad a 60 °C .....	101
4.6.4.	Prueba de reducción de humedad a 80 °C .....	103
4.6.5.	Prueba de reducción de humedad a 100 °C .....	104
4.6.6.	Análisis de resultados del electrodo Celulosico E6011 dejado a la intemperie durante 14 días.....	106
4.7.	PRUEBAS DE SOLDADURA CON ELECTRODO HUMEDO .....	107
4.8.	PRUEBAS DE SOLDADURA CON ELECTRODO DEJADO A LA INTEMPERIE.....	109
4.9.	PRUEBAS DE SOLDADURA CON ELECTRODOS SACADO DE SU ENVASE.....	109
4.10.	PRUEBAS DE SOLDADURA CON ELECTRODOS RECUPERADOS EN EL HORNO.....	111

CONCLUSIONES .....	113
RECOMENDACIONES .....	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	116
ANEXOS .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 01. Elementos de un circuito de soldadura típico para soldadura por arco de metal protegido. (THE PRODUCE HANDBOOK OF ARC WELDING) .....	7
Figura N° 02. Detalle 1 de la figura N° 02 a) Acción del proceso SMAW en una unión a tope (Manual indura) .....	8
Figura N° 03. Efecto de la corriente directa (polaridad directa e invertida) y alterna en una unión de soldadura. SOLDADURA, APLICACIONES Y PRACTICAS (Horwitz, 1997). .....	9
Figura N° 04. Elementos componentes de un electrodo para proceso SMAW	12
Figura N° 05. Manejo de electrodos proceso Productivo .....	23
Figura N° 06. Horno Keen KHT-200 .....	31
Figura N° 07. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 50°C ...	47
Figura N° 08. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 100°C .	49
Figura N° 09. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 200°C .	50
Figura N° 10. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 300°C .	52
Figura N° 11. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 350°C .	53
Figura N° 12. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a varias temperaturas.....	54
Figura N° 13. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 30°C ...	58
Figura N° 14. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 45°C ...	59
Figura N° 15. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 60°C ...	61
Figura N° 16. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 100°C .	62
Figura N° 17. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 150°C .	64
Figura N° 18. Tiempo vs Humedad de electrodos 6013resecados a varias temperaturas.....	64
Figura N° 19. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 30°C ...	68
Figura N° 20. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 40°C ...	70
Figura N° 21. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 60°C ...	71
Figura N° 22. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 80°C ...	73
Figura N° 23. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 100°C .	74

Figura N° 24. Tiempo vs Humedad de electrodos 6011 resecados a varias temperaturas.....	74
Figura N° 25. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 50°C ...	78
Figura N° 26. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 50°C ...	80
Figura N° 27. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 50°C ...	81
Figura N° 28. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 300°C .	83
Figura N° 29. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 350°C .	84
Figura N° 30. Tiempo vs Humedad de electrodos 7018 resecados a varias temperaturas.....	85
Figura N° 31. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 30°C ...	89
Figura N° 32. Tiempo vs. Humedad de electrodos 5013 resecados a 45°C ...	90
Figura N° 33. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 60°C ...	92
Figura N° 34. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 100°C .	93
Figura N° 35. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 150°C .	95
Figura N° 36. Tiempo vs Humedad de electrodos 6013 resecados a varias temperaturas.....	95
Figura N° 37. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 30°C ...	99
Figura N° 38. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 40°C ..	101
Figura N° 39. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 60°C ..	102
Figura N° 40. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 80°C ..	104
Figura N° 41. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 100°C	105
Figura N° 42. Tiempo vs Humedad de electrodos 6011 resecados a varias temperaturas.....	106
Figura N° 43. Líquidos penetrantes utilizados para pruebas de calidad .....	107
Figura N° 44. Probeta soldada con electrodo E7018 (húmedo).....	108
Figura N° 45. Probeta soldada con electrodo E6011 (húmedo).....	108
Figura N° 46. Probeta soldada con electrodo E7018 dejado a la intemperie.	109
Figura N° 47. Probeta soldada con electrodo E6011 dejado a la intemperie.	109
Figura N° 48. Probeta soldada con electrodo E7018 sacado de su envase ..	110
Figura N° 49. Probeta soldada con electrodo E6011 sacado de su envase ..	110



Figura N° 50. Probeta soldada con electrodo E7018 secado durante una hora.....	111
Figura N° 51. Probeta soldada con electrodo E6011 secado durante una hora.....	111
Figura N° 52. Probeta soldada con electrodo E7018 secado durante dos horas.....	112
Figura N° 53. Probeta soldada con electrodo E6011 secado durante dos horas.....	112

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla N° 01. Clasificación de Electrodos para Posiciones de Soldeo .....	19
Tabla N° 02. Tabla de Clasificación de Electrodo Características .....	19
Tabla N° 03. Recomendaciones para el resecado de electrodos .....	26
Tabla N° 04. Recomendaciones para el uso de electrodos de bajo hidrógeno .....	27
Tabla N° 05. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 50°C en distintos intervalos de tiempo .....	45
Tabla N° 06. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 50°C en distintos intervalos de tiempo .....	47
Tabla N° 07. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo .....	48
Tabla N° 08. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo .....	48
Tabla N° 09. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 200°C en distintos intervalos de tiempo .....	49
Tabla N° 10. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 200°C en distintos intervalos de tiempo .....	50
Tabla N° 12. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 300°C en distintos intervalos de tiempo .....	51
Tabla N° 13. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 300°C en distintos intervalos de tiempo .....	51
Tabla N° 13. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 350°C en distintos intervalos de tiempo .....	52
Tabla N° 14. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 350°C en distintos intervalos de tiempo .....	53
Tabla N° 15. Pesaje de electrodos 6013 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo .....	57
Tabla N° 16. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo .....	57
Tabla N° 17. Pesaje de electrodos 6013 resecados a 45°C en distintos intervalos de tiempo .....	58
Tabla N° 18. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 45°C en distintos intervalos de tiempo .....	59

Tabla N° 19.	Pesaje de electrodos 6013 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo .....	60
Tabla N° 20.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo .....	60
Tabla N° 21.	Pesaje de electrodos 6013 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo .....	61
Tabla N° 22.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo .....	62
Tabla N° 23.	Pesaje de electrodos 6013 resecados a 150°C en distintos intervalos de tiempo .....	63
Tabla N° 24.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 150°C en distintos intervalos de tiempo .....	63
Tabla N° 25.	Pesaje de electrodos 6011 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo .....	67
Tabla N° 26.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo .....	68
Tabla N° 27.	Pesaje de electrodos 6011 resecados a 40°C en distintos intervalos de tiempo .....	69
Tabla N° 28.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 40°C en distintos intervalos de tiempo .....	69
Tabla N° 29.	Pesaje de electrodos 6011 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo .....	70
Tabla N° 30.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo .....	71
Tabla N° 31.	Pesaje de electrodos 6011 resecados a 80°C en distintos intervalos de tiempo .....	72
Tabla N° 32.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 80°C en distintos intervalos de tiempo .....	72
Tabla N° 33.	Pesaje de electrodos 6011 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo .....	73
Tabla N° 34.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo .....	74
Tabla N° 35.	Pesaje de electrodos 7018 resecados a 50°C en distintos intervalos de tiempo .....	77
Tabla N° 36.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 50°C en distintos intervalos de tiempo .....	78

Tabla N° 37.	Pesaje de electrodos 7018 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo.....	79
Tabla N° 38.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo .....	79
Tabla N° 39.	Pesaje de electrodos 7018 resecados a 200°C en distintos intervalos de tiempo.....	80
Tabla N° 40.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 200°C en distintos intervalos de tiempo .....	81
Tabla N° 41.	Pesaje de electrodos 7018 resecados a 300°C en distintos intervalos de tiempo.....	82
Tabla N° 42.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 300°C en distintos intervalos de tiempo .....	82
Tabla N° 43.	Pesaje de electrodos 7018 resecados a 350°C en distintos intervalos de tiempo.....	83
Tabla N° 44.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 350°C en distintos intervalos de tiempo .....	84
Tabla N° 45.	Pesaje de electrodos 6013 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo.....	88
Tabla N° 46.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo .....	88
Tabla N° 47.	Pesaje de electrodos 6013 resecados a 45°C en distintos intervalos de tiempo.....	89
Tabla N° 48.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 45°C en distintos intervalos de tiempo .....	90
Tabla N° 49.	Pesaje de electrodos 6013 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo.....	91
Tabla N° 50.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo .....	91
Tabla N° 51.	Pesaje de electrodos 6013 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo.....	92
Tabla N° 52.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo .....	93
Tabla N° 53.	Pesaje de electrodos 6013 resecados a 150°C en distintos intervalos de tiempo.....	94
Tabla N° 54.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 150°C en distintos intervalos de tiempo .....	94

Tabla N° 55.	Pesaje de electrodos 6011 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo .....	98
Tabla N° 56.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo .....	99
Tabla N° 57.	Pesaje de electrodos 6011 resecados a 40°C en distintos intervalos de tiempo .....	100
Tabla N° 58.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 40°C en distintos intervalos de tiempo .....	100
Tabla N° 59.	Pesaje de electrodos 6011 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo .....	101
Tabla N° 60.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo .....	102
Tabla N° 61.	Pesaje de electrodos 6011 resecados a 80°C en distintos intervalos de tiempo .....	103
Tabla N° 62.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 80°C en distintos intervalos de tiempo .....	103
Tabla N° 63.	Pesaje de electrodos 6011 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo .....	104
Tabla N° 64.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo .....	105

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo N° 01. Tabla de especificaciones técnicas del número de electrodos por kilogramo según AWS .....	120
Anexo N° 02. Norma AWS D1.1 .....	122
Anexo N° 03. Condiciones apropiadas de almacenamiento y recuperación de electrodos revestidos .....	123

## RESUMEN

Es bien sabido que actualmente la mayoría de las empresas metalmecánicas existentes en la Región de Puno no le han dado la debida importancia al proceso de soldadura estos vienen operando de una manera empírica basándose solamente en los conocimientos, habilidades y destrezas de los operarios, quienes en ciertos casos utilizan electrodos revestidos sin importar que los mismos se encuentren expuestos a la intemperie o hasta incluso en medios relacionados con lubricantes. Tal es así que tanto el almacenamiento como el precalentamiento de los consumibles SMAW requieren ciertos cuidados, debido a que el contenido de humedad del aire es fácilmente absorbido por el revestimiento del electrodo. El método de investigación que se utilizó fue de tipo cuantitativo -cualitativo y el tipo de investigación es descriptivo-explicativo. El objetivo es evaluar los niveles de humedad del aire en los electrodos de soldadura SMAW y demostrar su incidencia en la calidad de los productos soldados. Para realizar el presente estudio se consideró un estudio previo de la temperaturas y humedad relativa de la ciudad de Puno que oscila alrededor del 55% en verano y entre el 36% y 40% en el invierno. La conclusión muestra que conforme se incrementa la temperatura de secado se va reduciendo de manera considerable los niveles de humedad acertando los tiempos y las temperaturas recomendados por la norma AWS 5.1-81. Definiéndose así los parámetros que se debe tener para que los cordones de soldadura no presenten defectos de penetración, inclusión de escoria y falta de fusión en los bordes. Los resultados que se esperaran de este trabajo de investigación es que los electrodos revestidos se encuentren en medios y condiciones apropiados que garanticen que los mismos estén aptos para su utilización en el proceso de soldadura, Además de desarrollar e implementar los procesos de manejo y almacenamiento de consumibles cuyas especificaciones se encuentran basadas en la norma AWS A5.1-81, con lo cual se podrá evitar tiempos improductivos, reprocesos de manufactura y pérdidas económicas por desperdicios de estos.

**Palabras clave:** Humedad, electrodo, soldadura, productos y calidad.

## ABSTRACT

It is known well that nowadays the majority of the companies metal mechanics existing in our Puno's Region have not given him the due importance to the process of weld these come operating in an empirical way being based only on the knowledge, skills and skills of the operatives, who in certain cases use electrodes re-dressed without mattering that the same ones are exposed in the open air or even in means related to lubricants. Such it is so both the storage and the warm-up of the consumable SMAW need certain taken care, due to the fact that the content of dampness of the air is easily absorbed by the coating of the electrode. The aim is to evaluate the levels of dampness of the air in the electrodes of weld SMAW and to demonstrate his incident in the quality of the welded products. To realize the present study was considered to be a previous study of the temperatures and relative dampness of Puno's city that ranges between ranges about 55 % in the summer and between 36 % and 40 % in the winter. The scientific method that was in use for the present study was the inductive method - deductively, the methodology based on the quantitative analysis and the type of design investigative with exploratory, descriptive studies correlate them and explanatory. The conclusion shows that similar the temperature is increased of dried one is reducing in a considerable way the levels of dampness succeeding the times and the temperatures recommended by the norm AWS 5.1-81. There being defined this way the parameters that it is necessary to have in order that the cords of weld do not present metal penetration defects, incorporation of dross and lack of merger in the edges. The results that are expected from this work of investigation it is that the redressed electrodes are in means and conditions adapted that guarantee that the same ones are suitable for his utilization in the process of weld, Beside develop and to implement the processes of managing and storage of consumable whose specifications are based on the norm AWS A5.1-81, with which will be able to be avoided unproductive times, reprocesses of manufacture and economic losses for wastes of these.

**Keywords:** Dampness, electrode, weld, products and quality.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

Debido a cuestiones medioambientales, el revestimiento del electrodo, absorbe humedad, variando sus propiedades y bondades; ésta humedad en gran medida queda atrapada en el interior del revestimiento formando microcristales, los mismos que se encuentran constituidos de hidrógeno y oxígeno, elementos que al momento de la ejecución de la soldadura pueden provocar fisuras internas que afecten en la postre la unión de la junta debido al constante sometimiento de cargas y esfuerzos dinámicos y estáticos, lo que puede ocasionar fatales consecuencias y por ende desprestigio para la empresa por la baja calidad de sus productos.

Hay que diferenciar que existen diferentes tipos de revestimientos, de los cuales nuestra mayor atención la reciben los electrodos conocidos como básicos o de bajo hidrógeno. Esta condición se traduce que el contenido de humedad máxima sea de un 0.6% para la condición estándar; 0.3% para los electrodos clasificados como R y 0.1% de humedad para aquellos electrodos que cumplen requerimientos según el estándar militar de Estados Unidos. Por ello y debido a

que sus aplicaciones generalmente son críticas, debemos considerar que su almacenamiento y reacondicionamiento es de suma importancia. Caso contrario ocurre con los electrodos cuyo revestimiento es del tipo celulósico (EXX10, EXX11), los cuales requieren cierta cantidad de humedad en su revestimiento para que tengan una buena operatividad, entre estos dos extremos se encuentran los electrodos tipo rutilicos (EXX12, EXX13) que poseen requerimientos de cuidados no tan estrictos como los de bajo hidrógeno.

El presente trabajo basa su problemática en que los electrodos revestidos utilizados en la soldadura SMAW, cuando absorben humedad tienden a alterar el depósito de soldadura reflejándose en forma de defectos en el depósito de soldadura especialmente causado por el hidrógeno atómico absorbido en la estructura del metal base y metal de aporte; influyendo como consecuencia, en la alteración de las propiedades mecánicas de la unión soldada, como la resistencia a la tensión, elongación, tenacidad, dureza y fundamentalmente se presenten defectos tales como rechupes, grietas, porosidades, falta de fusión entre otros.

La poca investigación y análisis puede repercutir en gran medida a que se tenga un gran desconocimiento sobre el tema, vinculándose con el hecho de continuar con este proceso, sin considerar que el uso inconsciente y desmedido de electrodos puede ser considerado como un parámetro que puede ocasionar pérdidas para la empresa.

Ante la falta de un equipo para conservación de electrodos revestidos se continuaría empleando el mismo proceso empírico de almacenamiento y manipulación de los mismos, debido a que ciertos soldadores utilizan sus

electrodos revestidos con sus manos sucias, con grasa e incluso los dejan a la intemperie, razones por las cuales el revestimiento absorbe humedad, lo que repercute en gran medida en el comportamiento de los electrodos, depositando de esta manera un metal poco dúctil y propenso a sufrir fisuras bajo el cordón.

Por efecto del incorrecto manejo y almacenamiento inadecuado de consumibles SMAW que hacen que absorba humedad es que se ha planteado realizar el efecto que causa la humedad que absorben los electrodos en la estructura soldada y analizar las condiciones de manejo y almacenamiento de consumibles en el proceso SMAW que actualmente se realizan en la empresa, pues estos influyen directamente en la calidad de sus procesos y limitan el mantener la gestión de calidad que exige el mercado actual. La necesidad de ofrecer un servicio de calidad en la soldadura a los diferentes clientes de la empresa es que se requiere la investigación sobre la influencia que tiene la humedad sobre los consumibles de soldadura SMAW.

En tal razón la presente investigación se justifica porque pretende determinar coincidencia entre los valores que establece la norma AWS como recomendables para realizar el proceso de soldadura con electrodos revestidos y por ende garantizar una buena unión y duración de las juntas soldadas. Así mismo garantizar que los elementos conocidos como electrodos funcionen de una manera óptima a fin de que no se pierdan las bondades y características propias de los diferentes revestimientos el momento de realizar juntas soldadas, además de disminuir en cierta proporción los defectos de soldadura en el área de soldadura de estructuras metálicas.

### **1.1. HIPÓTESIS DEL TRABAJO**

La evaluación y control de los niveles de humedad del aire que son absorbidos por el electrodo revestido de soldadura SMAW permitirá demostrar su incidencia en la calidad de los productos soldados.

### **1.2. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar los niveles de humedad del aire en los electrodos de soldadura SMAW y demostrar su incidencia en la calidad de los productos soldados.

### **1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el exceso de humedad absorbido por el revestimiento de los electrodos 7018, 6013 y 6011 primero humedeciendo intencionalmente estos electrodos en agua durante 5 minutos y segundo dejados a la intemperie durante dos semanas.
- Realizar un ensayo de conservación de electrodos 7018, 6013 y 6011 sometidos a la exposición de agua y a la intemperie a fin de determinar el tiempo y la temperatura necesaria que concuerden con la norma AWS A5.1-81 y satisfagan la misma de acuerdo a los requerimientos de humedad necesarios.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. REFERENCIAS TEORICAS

##### 2.1.1. Soldadura por arco de metal protegido (SMAW)

La soldadura por arco de metal protegido (SMAW) es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor que se produce entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie de metal base en la unión a soldar.

La soldadura es el método de unir metales más prácticos y pocos son los objetos de uso hoy en día que no dependan de una unión soldada en alguna fase antes de llegar a nosotros. Por su extenso uso industrial, implica que el conocimiento de los procesos de soldadura es esencial no sólo para los ingenieros, sino también para los diseñadores, fabricantes y usuarios de productos de soldado (Houldcroft, 1990).

La soldadura de arco o soldadura eléctrica es el proceso de más amplia aceptación como el mejor, el más económico, el más natural y el más práctico

para unir metales. En el proceso de soldadura manual por arco, que es de uso más común, el soldador obtiene un electrodo adecuado, sujeta el cable de tierra a la pieza de trabajo, y ajusta la corriente eléctrica para “hacer saltar el arco”, es decir para crear una corriente eléctrica intensa que salte entre el electrodo y el metal. Enseguida mueve el electrodo a lo largo de las líneas de unión del metal que ha de soldar, dando suficiente tiempo para que el calor del arco funda el metal. El metal fundido, procedente del electrodo, o metal de aporte se deposita en la junta y junto con el metal fundido de los bordes, se solidifica para formar una junta sólida (Horwitz, 1997).

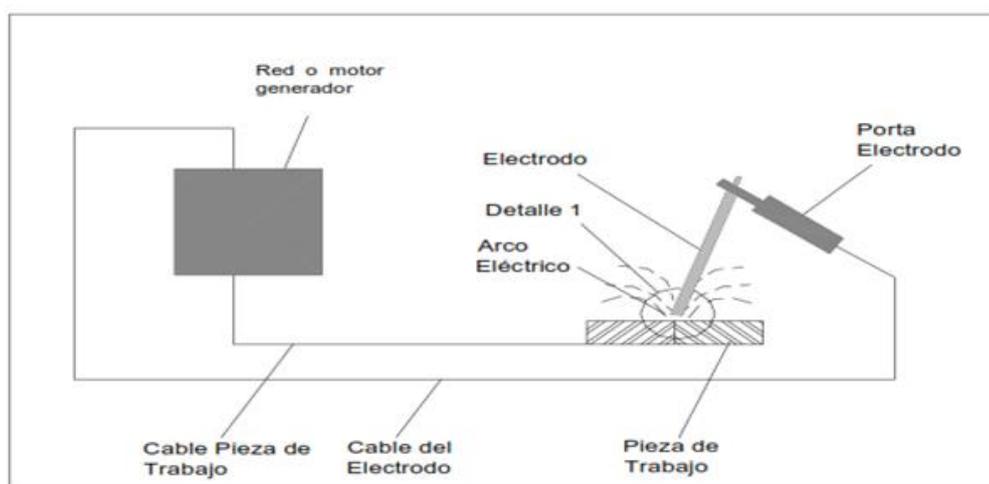
El núcleo del electrodo consiste en una varilla de metal sólido estirado o colado, o bien una varilla fabricada encerrando metal en polvo en una funda metálica. La varilla del núcleo conduce la corriente eléctrica al arco y suministra metal de aporte a la unión. Las funciones principales del revestimiento del electrodo son estabilizar el arco y proteger el metal derretido de la atmósfera por medio de los gases que se crean cuando el recubrimiento se descompone por el calor del arco (American Welding Society, 1996).

La confiabilidad de una unión soldada, dependerá de la calidad del material base, de su forma, del metal de aportación, de las características del equipo con el cual se realiza la unión, del factor ambiente y sobre todo es de vital importancia la experiencia y eficiencia del soldador y la posición en que realiza el trabajo.

### **2.1.2. Principios de funcionamiento**

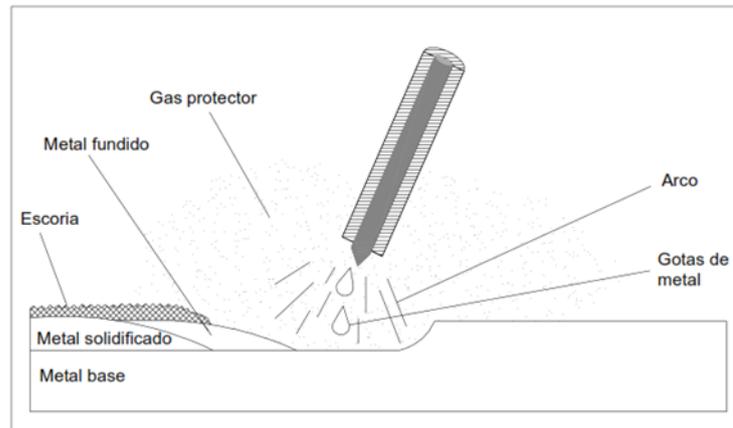
La soldadura por arco de metal protegido (SMAW) es uno de los procesos de soldadura por arco más ampliamente utilizado, en el cual se aprovecha el

calor del arco eléctrico para fundir la pieza de trabajo y el electrodo consumible. El electrodo y la pieza de trabajo forman parte de un circuito eléctrico. Este circuito eléctrico comienza con la conexión a la red de alumbrado o a un motor generador como fuente de potencia eléctrica o máquina soldadora e incluye cables para la conducción eléctrica, un porta electrodos, una conexión con la pieza de trabajo y un electrodo, tal como se muestra en la figura N°1).



**Figura N° 01.** Elementos de un circuito de soldadura típico para soldadura por arco de metal protegido. (THE PRODUCE HANDBOOK OF ARC WELDING)

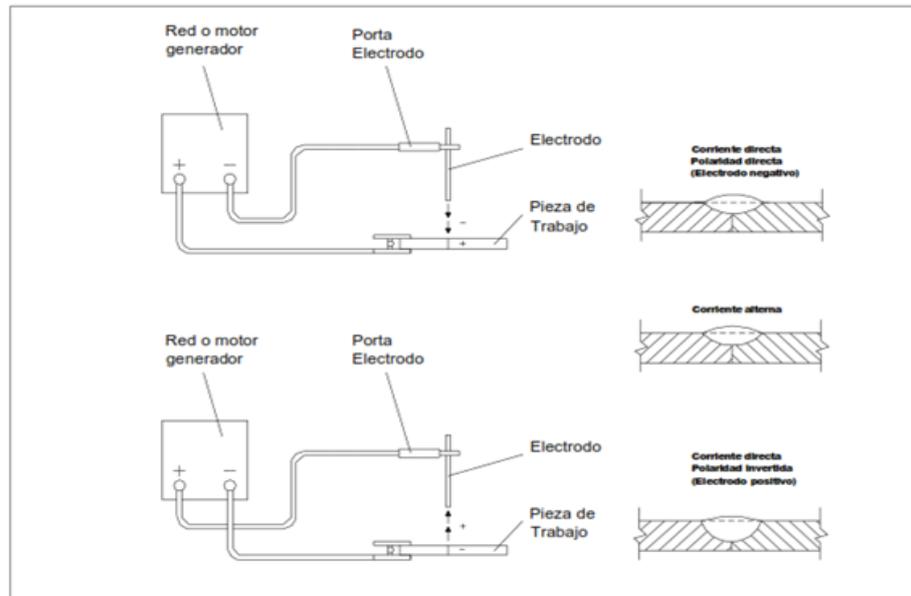
La soldadura se inicia cuando se enciende un arco eléctrico entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo. El intenso calor del arco funde la punta del electrodo y la superficie de trabajo inmediata al arco. El metal de aporte se deposita a través del arco en pequeños glóbulos de metal fundido formando así una piletta de soldadura fundida. Mientras, el arco se mueve sobre la pieza de trabajo con una longitud de arco y una velocidad de desplazamiento apropiada, el electrodo se va consumiendo. La fusión del metal base se efectúa en forma casi instantánea al iniciarse el arco, en la figura N° 2 se muestra el detalle 1 en la zona del arco eléctrico en el proceso de soldadura.



**Figura N° 02.** Detalle 1 de la figura N° 02 a) Acción del proceso SMAW en una unión a tope (Manual indura)

Al realizar soldaduras en posición plana la transferencia de metal es inducida por la fuerza de gravedad, la expansión del gas, fuerzas eléctricas y electromagnéticas, además de la tensión superficial.

Al soldar en otras posiciones el campo de gravedad actuará. El arco eléctrico es un proceso que desarrolla altas temperaturas y se han llegado a medir en fuentes de calor comerciales, temperaturas por sobre los 5000 °C en su centro. Sin embargo, los tamaños y tipos de electrodos para SMAW definen los requerimientos de voltaje (16 a 40 Volt) y de amperaje (20 a 550 Amperes) del arco. En la figura N° 3, se aprecian los efectos de los tipos de corrientes usadas para el proceso SMAW.



**Figura N° 03.** Efecto de la corriente directa (polaridad directa e invertida) y alterna en una unión de soldadura. SOLDADURA, APLICACIONES Y PRACTICAS (Horwitz, 1997).

### 2.1.3. Protección del arco

- La acción de protección del arco es la misma para todos los electrodos.
- Dependiendo del espesor de la cobertura del electrodo será el volumen de gas generado.
- Una cobertura gruesa producirá un gran volumen de gas protector que actuará como escudo contra la atmósfera y a la vez produce una pequeña cantidad de escoria.
- Para el caso de un electrodo con recubrimiento delgado la situación cambia puesto que la mayor parte de esta cobertura se convierte en escoria.

- Los diminutos glóbulos de metal que se transfieren por el arco están cubiertos totalmente por una película delgada de escoria fundida, la cual flota en la superficie por tener una densidad mucho menor que la del metal.
- Los electrodos que producen mucha escoria pueden transportar un amperaje elevado y ofrecen altas tasas de deposición, lo cual es bueno para soldar piezas gruesas en la posición plana.
- Los electrodos que producen poca escoria se usan con amperajes menores y ofrecen tasas de deposición más bajas, son apropiados para soldar en cualquier posición.

#### **2.1.4. Ventajas del proceso SMAW**

- El equipo es relativamente sencillo y portátil.
- El electrodo recubierto proporciona el metal de aporte y el mecanismo para proteger dicho metal contra una oxidación durante la soldadura.
- No se requiere protección con gas auxiliar ni un fundente granular.
- El proceso es menos sensible al viento y las corrientes de aire, que los procesos de soldadura por arco protegido con gas.
- Se puede utilizar en áreas de acceso limitado.
- El proceso es adecuado para la mayor parte de los metales y aleaciones de uso común.

### 2.1.5. Desventajas del proceso SMAW

- El proceso SMAW no suelda metales de bajo punto de fusión como el plomo, el estaño y el zinc, y sus aleaciones.
- Tampoco es apropiado para metales reactivos como el titanio, zirconio, tántalo y colombio porque la protección es insuficiente para evitar que la soldadura se contamine con oxígeno.
- El núcleo posee una resistencia eléctrica, por lo tanto, un amperaje excesivo puede sobrecalentar el electrodo y descomponer su cobertura esto a su vez altera las características del arco y de la nube protectora provocando tasas de deposición bajas.
- El ciclo de trabajo del operador y las tasas de deposición globales para los electrodos recubiertos suelen ser menor que en los procesos de electrodo continuo. Esto se debe a que los electrodos solo pueden consumirse hasta una cierta longitud mínima desechando la cola no consumida e insertando un nuevo electrodo en el porta electrodos.
- Además, casi siempre debe eliminarse escoria en los puntos donde se inicia y se detiene y antes de depositar una franja de soldadura frente a la otra previamente depositada o sobre ella.

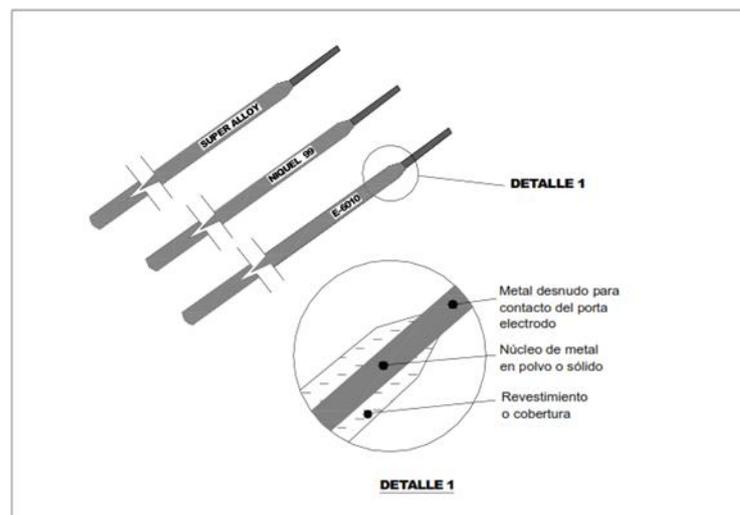
### 2.1.6. Espesores

El proceso SMAW se puede adaptar a materiales de cualquier espesor dentro de ciertos límites prácticos y económicos, no se recomienda para espesores de menos de 1.6 mm, puesto que el metal base se fundirá de lado a lado. La mayor parte de las aplicaciones del proceso SMAW implican espesores

de entre 3 y 38 mm (1/8 y 1.5 pulg). Cuando la forma de las piezas es irregular el proceso SMAW es el más adecuado y puede llegar a soldar materiales de hasta 250 mm (10 pulgadas) de espesor.

### 2.1.7. Descripción del electrodo

El electrodo es una varilla de metal sólido de material estirado o colado, o bien una varilla fabricada encerrando metal en polvo en una funda metálica. Esta varilla está recubierta de un material que puede ser celulósico, rutilico, de polvo de hierro, etc, además esta varilla también llamada núcleo conduce la corriente eléctrica estableciendo el arco y suministra metal de aporte a la unión. En la figura N° 4, se aprecian las partes que componen a un electrodo recubierto.



**Figura N° 04.** Elementos componentes de un electrodo para proceso SMAW

### 2.1.8. Funciones de la cobertura del electrodo

Las funciones de la cobertura de un electrodo para el proceso SMAW, para las uniones soldadas son enumeradas como sigue:

1. Genera humos que protegen la zona del arco, que evita la contaminación de la zona soldada.
2. Suministra aditivos como, desoxidantes y agentes fundentes para purificar la soldadura y evitar un crecimiento excesivo de granos en el metal de soldadura.
3. Establece las características eléctricas del electrodo.
4. Proporciona un manto de escoria que protege el metal de soldadura caliente del aire y mejora las propiedades mecánicas, la forma de la franja y la limpieza superficial de dicho metal.
5. Constituye un medio para añadir elementos de aleación que modifiquen las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

Las funciones 1 y 4 evitan la absorción de oxígeno y nitrógeno del aire por parte del metal de aporte fundido en la zona del arco y del metal de soldadura mientras se solidifica y enfría.

Los electrodos de hierro en polvo con coberturas gruesas reducen la habilidad que se necesita para soldar. La punta del electrodo puede arrastrarse sobre la superficie del trabajo manteniendo todo el tiempo un arco de soldadura. Por esta razón, los electrodos gruesos con hierro en polvo se conocen también como electrodos de arrastre. A menudo se emplean polvos metálicos distintos del hierro a fin de alterar las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

#### **2.1.9. Selección del electrodo adecuado**

Para escoger el electrodo adecuado es necesario analizar las condiciones de trabajo en particular y luego determinar el tipo y diámetro del electrodo que más se adapte a estas condiciones.

Este análisis es relativamente simple, tomando en cuenta los siguientes factores:

- Naturaleza del metal base
- Dimensiones de la sección a soldar
- Tipo de corriente que entrega la máquina soldadora.
- En qué posición o posiciones se soldará.
- Tipo de unión y facilidad de fijación de la pieza.
- Si el depósito debe poseer alguna característica especial, como son: resistencia a la corrosión, resistencia a la tracción, ductilidad, etc.
- Si la soldadura debe cumplir condiciones de alguna norma o especificaciones especiales.

Tomando en cuenta todos estos factores el electrodo durante su funcionamiento dará como resultado un arco estable, depósitos parejos, escoria fácil de remover y un mínimo de salpicaduras, que son las condiciones esenciales para obtener una ejecución óptima de la soldadura.

#### **2.1.10. Almacenamiento de electrodos**

Todos los revestimientos de electrodos contienen  $H_2O$  (cobertura higroscópica), esto es debido a que absorben la humedad con facilidad y la

retienen. La humedad que captan durante la exposición a la atmósfera tiene los siguientes resultados:

- Hay una producción de hidrogeno y oxigeno durante la soldadura.
- Los átomos de hidrogeno se disuelven en la soldadura y en la zona térmicamente afectada, y pueden causar agrietamiento en frío.
- Un exceso de humedad en la cobertura de los electrodos puede causar porosidad en el metal de soldadura depositado.
- Para minimizar los problemas de la humedad, es preciso empacarlos, almacenarlos y manejarlos correctamente. Algunos tipos como los celulósicos requieren algún contenido mínimo de humedad para trabajar correctamente (4 % para un AWS E- 6010).
- Para los casos, como los de bajo hidrógeno, se requiere de niveles bajísimos de humedad; 0.4 % para la serie 70 (ej.: 7018), 0.2 % para la serie 80 (ej.: E-8018); 0.15 % para las series 90, 100, 110 y 120 (Ej.: 9018, 11018 y 12018).

Por consiguiente, los porcentajes descritos son de vital importancia cuando se trata de soldar aceros de baja aleación y alta resistencia, aceros templados y revenidos o aceros al carbono- manganeso en espesores gruesos.

La humedad del revestimiento aumenta el contenido de hidrógeno en el metal de soldadura y de la zona afectada térmicamente (ZAT). Este fenómeno puede originar fisuras en aceros que presentan una estructura frágil en la ZAT, como los mencionados anteriormente.

Para evitar que esto ocurra se debe emplear electrodos que aporten la mínima cantidad de hidrógeno (electrodos bajo hidrógeno, ej. 7018), y además un procedimiento de soldadura adecuado para el material base y tipo de unión (precalentamiento y / o post – calentamiento según sea el caso).

#### **2.1.11. Condiciones de mantención de electrodos**

Son las condiciones que se deben observar, según lo indicado por el fabricante una vez que los electrodos se encuentran fuera de sus cajas, estas vienen indicadas en el embalaje.

#### **2.1.12. Funciones del revestimiento**

##### **2.1.12.1. Función eléctrica del revestimiento**

La estabilidad del arco para la soldadura depende de una amplia serie de factores como es la ionización del aire para que fluya adecuadamente la electricidad.

Para lograr una buena ionización se añaden al revestimiento del electrodo productos químicos denominados sales de sodio, potasio y bario los cuales tienen una tensión de ionización baja y un poder termoiónico elevado.

El recubrimiento, también en su composición productos como los silicatos, los carbonatos, los óxidos de hierro y óxidos de titanio que favorecen la función física de los electrodos, que facilitan la soldadura en las diversas posiciones de ejecución del soldeo.

### 2.1.12.2. Función física de la escoria

Una misión fundamental del revestimiento es evitar que el metal fundido entre en contacto con el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno del aire, ya sea por la formación de un gas protector alrededor del camino que han de seguir las gotas del metal fundido y después, mediante la formación de una abundante escoria que flota por encima del baño de fusión.

El revestimiento debe ser versátil y permitir generalmente la soldadura en todas las posiciones. En ello interviene dos factores:

- El propio espesor del revestimiento.
- Su naturaleza, que determina la viscosidad de la escoria, que es necesaria para mantener la gota en su lugar a través de su propia tensión superficial y para proteger el baño fundido del contacto con el aire.

El revestimiento del electrodo se consume en el arco con una velocidad lineal menor que el alma metálica del mismo. Como resultado, el recubrimiento queda prolongado sobre el extremo del alma y forma un cráter que sirve para dirigir y concentrar el chorro del arco, disminuyendo sus pérdidas térmicas.

### 2.1.12.3. Función metalúrgica del revestimiento

El revestimiento dispone de elementos que se disuelven en el metal fundido con objeto de mejorar las características mecánicas del metal depositado, adicionalmente brinda las siguientes características:

- La escoria reduce la velocidad de enfriamiento de la soldadura por su efecto aislante.

- Reduce el número de inclusiones en la soldadura, al eliminar un gran número de impurezas.
- Produce en el baño una verdadera micrometalurgia, desoxidando, desnitrurando, desfosforando y desulfurando el metal fundido.
- Aísla el baño de elementos con los que tiene gran afinidad: oxígeno, nitrógeno, hidrógeno ya sea a través de escorias o gases protectores.
- Una de las principales funciones metalúrgicas de los recubrimientos de los electrodos es proteger el metal de la oxidación, primero aisándolo de la atmósfera oxidante que rodea al arco y después recubriéndolo con una capa de escoria mientras se enfría y solidifica.

### **2.1.13. Clasificación**

Para los electrodos empleados en este proceso, las especificaciones AWS que aplican son las siguientes:

AWS A5.1 para electrodos de acero al carbono

AWS A5.3 para electrodos de aluminio y sus aleaciones

AWS A5.4 para electrodos de acero inoxidable.

AWS A5.5 para electrodos de acero de baja aleaciones

AWS A5.6 para electrodos de cobre y sus aleaciones

AWS A5.11 para electrodos de Níquel y sus aplicaciones

AWS A5.13 para electrodos sólidos para revestimientos superficiales

AWS A5.15 para electrodos de hierro colado

AWS A5.21 para electrodos compuestos.

El sistema de clasificación de los electrodos recubiertos sigue el modelo empleado en las otras especificaciones AWS para metales de aporte.

Tal sistema se ilustra en la tabla 01.

**Tabla N° 01.** Clasificación de Electrodos para Posiciones de Soldeo

CLASIFICACION	POSICIONES
EXX1X	Plana, Horizontal, vertical y sobre cabeza
EXX2X	Plana y Para Soldadura de Filete en Posición Horizontal
EXX4X	Plana, Horizontal, Sobre Cabeza y Vertical descendiente

Fuente: Curso Inspector de Soldadura AWS QC1:2007.

Nota: En este sistema de clasificación, los dos o tres primeros dígitos indican la resistencia mínima a la tensión del metal de soldadura obtenido con el electrodo correspondiente, y el tercero (o cuarto) dígito, indica la posición de soldadura para la que cada tipo de electrodo está diseñado.

**Tabla N° 02.** Tabla de Clasificación de Electrodo Características

CLASIFICACION	TIPO DE CORRIENTE	PENETRACION	REVESTIMIENTO
EXXX0	CDEP	PROFUNDA	CELULOSA,SODIO
EXXX1	CA, CDEP	PROFUNDA	CELULOSA, POTASIO
EXXX2	CA,CDEN	INTERMEDIA	RUTIO,SODIO
EXXX3	CA,CDEP,CDEP	LIGERA	RUTIO,POTASIO
EXXX4	CA,CDEN,CDEP	LIGERA	RUTILIO,POLVO DE HIERRO
EXXX5	CDEP	INTERMEDIA	BAJO HIDROGENO SODIO
EXXX6	CA,CDEP	INTERMEDIA	BAJOS HIDROGENO POTASIO

EXXX7	CA,CDEN	INTERMEDIA	POLVO DE HIERRO,OXIDO DE HIERRO
EXXX8	CA,CDEP	INTERMEDIA	BAJO HIDROGENO PLOVO DE HIERRO
EXXX9	CA,CDEP,CDEN	PROFUNDA	OXIDO DE HIERRO RUTILO Y POTASIO

Fuente: Indura.

Las tablas 1 y 2 anteriores describen de manera detallada el sistema de clasificación que se emplea para los electrodos recubiertos de acero al carbono (especificación ANSI/AWS A5.1).

Según la clasificación E7018-1 H8 R involucra la información siguiente:

**E:** Electrodo

**70:** Indica 70,000 libras/pulg<sup>2</sup> (PSI) de resistencia mínima a la tensión del metal de soldadura.

**1:** Significa que el electrodo puede usarse en posiciones de soldadura, planas, vertical, horizontal y sobre cabeza.

**8:** Revestimiento de bajo hidrogeno con potasio y polvo de hierro; electrodo para ser empleado con corriente directa electrodo positivo.

**1:** Indica que cumple con los requisitos de tenacidad (resistencia al impacto) mejorada (20 libras-pie a -50 °F, o 27 Joules a 47°C).

**H8:** Significa que el metal depositado con este electrodo contiene como máximo 8ml de H<sub>2</sub>/100 gramos de metal depositado (cuando es sometido a uno de los métodos de prueba establecidos en la norma ANSI/AWS A4.3).

**R:** Denota que el electrodo cumple con los requisitos de humedad absorbida.

La clasificación de los electrodos recubiertos de acero de baja aleación (especificación ANSI/AWS A 5.5) es muy parecida a la empleada para los electrodos de acero al carbono.

Pero adicionalmente contiene un sufijo o designado adicional que indica la composición química del metal de soldadura no diluido producido por el electrodo correspondiente, o si se trata de electrodos intentados para cumplir la mayoría de los requisitos militares o alguna otra aplicación específica.

#### **2.1.14. Manejo de electrodos**

La parte más importante de un electrodo es su revestimiento, ya que la calidad del metal depositado depende exclusivamente de él. Si el revestimiento esta agrietado, desprendido, humedecido o contaminado con aceite, grasa, pintura o cualquier otra suciedad, dará como resultado un depósito que no cumpliría con la calidad requerida.

Un revestimiento agrietado, permitiría que se contamine (oxide) el alma del electrodo, provocando la formación de poros y probable inclusión de elementos extraños (no metálicos) en el baño de fusión, los que pueden afectar las propiedades mecánicas del metal depositado.

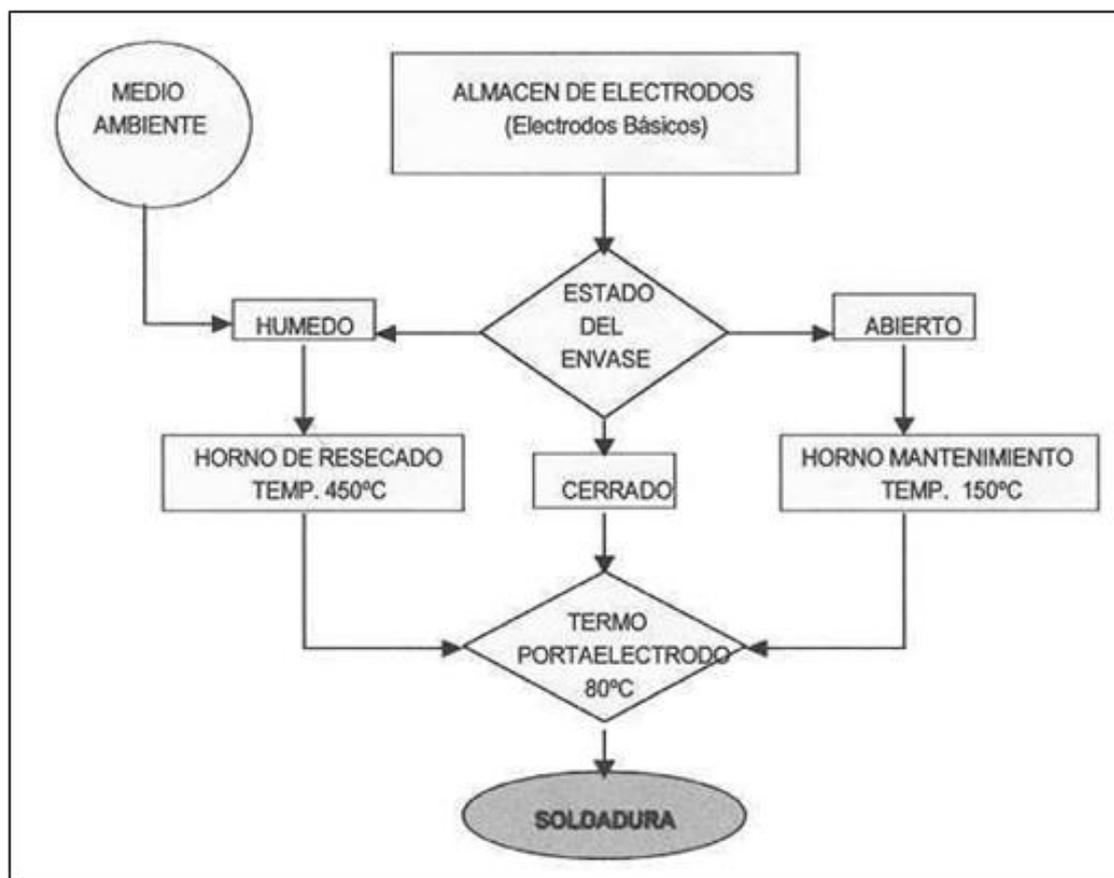
Un electrodo que tiene desprendido parte de su revestimiento causa dos inconvenientes muy serios; uno, es la desviación del arco eléctrico (hecho que hace ingobernable para el soldador dirigir el arco), el otro, el arco queda desprotegido de la capa gaseosa y por consiguiente, el metal líquido durante la transferencia es contaminado por el aire circundante causando problemas en el cordón depositado.

Un electrodo húmedo, puede generar múltiples complicaciones, desde porosidades en la soldadura hasta fisuras, dependiendo del tipo de material base que se esté soldando, es absolutamente necesario que los electrodos deban ser tratados con mucho cuidado y conservados en recintos cerrados y climatizados. En lo posible los electrodos deben ser conservados en sus envases originales, los cuales a su vez deberán estar en perfecto estado, cerrados herméticamente, sin golpes ni roturas. Las cajas que son abiertas, necesariamente deberán estar almacenadas en recintos climatizados con temperatura y humedad controlada.

Si por alguna causa los electrodos se han humedecido (principalmente los de revestimiento básico), o han permanecido expuestos a la humedad del ambiente por un tiempo prolongado, deberán ser secados en un horno a la temperatura y tiempo recomendados por el fabricante, antes de ser utilizados nuevamente.

Los electrodos de revestimiento Celulósico y Rutilico, si bien, no requieren ser mantenidos en termos porta electrodos, deberán estar secos (no calientes) y deben ser conservados en sus envases originales hasta el momento de su utilización.

En el esquema siguiente se marca el camino recomendado que deben seguir los consumibles dependiendo de la condición en que ingresan al proceso de producción.



**Figura N° 05.** Manejo de electrodos proceso Productivo

Fuente: Técnico de la soldadura UTU CETP.

### 2.1.15. Almacenamiento de electrodos

Todos los revestimientos de electrodos contienen H<sub>2</sub>O. Algunos tipos como los celulósicos requieren un contenido mínimo de humedad para trabajar correctamente (4% para un AWS E-6010). En otros casos, como en los de bajo hidrógeno, se requieren niveles bajísimos de humedad; 0,4% para la serie 70 (Ej. 7018), 0,2% para la serie 80 (Ej. E-8018); 0,15% para las series 90, 100, 110 y 120 (Ej. 9018, 11018, 11018 y 12018).

La humedad del revestimiento aumenta el contenido de hidrógeno en el metal de soldadura y de la zona afectada térmicamente (ZAT). Este fenómeno

puede originar fisuras en aceros que presentan una estructura frágil en la ZAT, como los mencionados anteriormente.

Para evitar que esto ocurra se debe emplear electrodos que aporten la mínima cantidad de hidrógeno (electrodos de bajo hidrógeno, Ej. 7018), y además un procedimiento de soldadura adecuado para el material base y tipo de unión. De todo lo anterior se puede deducir fácilmente la importancia que tiene el buen almacenamiento de los electrodos. De ello depende que los porcentajes de humedad se mantengan dentro de los límites requeridos y así el electrodo conserve las características necesarias para producir soldaduras sanas y libres de defectos.

Como las condiciones de almacenamiento y reacondicionamiento son diferentes para los diversos tipos de electrodos, hemos agrupado aquéllos cuyas características son semejantes, a fin de facilitar la observación de estas medidas. Previamente definiremos los siguientes conceptos:

#### **2.1.15.1. Aspectos del almacenamiento de electrodos revestidos**

Se debe considerar que al momento de almacenamiento de electrodos según la norma AWS se debe considerar que los mismos se deben ubicar en pequeños paquetes, de electrodos del mismo tipo ya sean celulósicos, rutílicos, de bajo contenido de hidrógeno u otra clase, evitando así confusiones a la hora de utilizarlos.

Todos los revestimientos de electrodos contienen H<sub>2</sub>O. Algunos tipos como los celulósicos requieren un contenido mínimo de humedad para trabajar correctamente (4% para un AWS E-6010). En otros casos, como en los de bajo hidrógeno, se requieren niveles bajísimos de humedad; 0.4 a 0.5% para

la serie 70 (Ej. 7018), 0.2% para la serie 80 (Ej. E- 8018); 0.15% para las series 90, 100, 110 y 120 (Ej. 9018, 11018, 11018 y 12018).

Según la norma AWS para que los electrodos se conserven en óptimas condiciones deben mantenerse en lugares secos con una humedad relativa que no exceda el 50 %. La presencia de lubricantes, rociaduras de pinturas o humedad atmosférica puede ocasionar trabajos de soldadura de baja calidad; por lo tanto, normalmente los electrodos deben almacenarse en hornos equipados para tales condiciones.

Cuando un electrodo se expone a la humedad su revestimiento tiende a desintegrarse. Al manipular los electrodos para su almacenaje, se debe procurar no golpearlos o flejarlos, pues hay peligro de que se produzcan agrietamientos en el revestimiento, con lo que el electrodo queda inservible.

Los trabajos que exigen calidad requieren que el cordón tenga excelentes condiciones tanto internas como externas, con lo que una vez que los electrodos se han expuesto tan solo treinta minutos a la intemperie, su revestimiento empieza a absorber la humedad del medio ambiente influyendo de esta manera el hidrógeno absorbido en el cordón de soldadura; lo que se muestra que con el mínimo de horas de exposición atmosférica permitida de los electrodos de bajo hidrógeno.

A continuación, se presenta la siguiente tabla recomendada por la norma norteamericana AWS, en la cual se proponen las condiciones de almacenamiento y reacondicionamiento de acuerdo con la clasificación del electrodo (tabla 4).

**Condiciones de almacenamiento:** Son aquéllas que se deben observar al almacenar en cajas cerradas. En Tabla 4 se dan las recomendaciones para el acondicionamiento de depósitos destinados al almacenamiento de electrodos.

**Condiciones de mantención:** Son las condiciones que se deben observar una vez que los electrodos se encuentran fuera de sus cajas. En Tabla 4 se indican estas condiciones.

**Reacondicionamiento o resecado:** Aquellos electrodos que han absorbido humedad más allá de los límites recomendados por la norma requieren ser reacondicionados, a fin de devolver a los electrodos sus características. En Tabla 5 se indican las recomendaciones para el reacondicionamiento de electrodos.

La operación de resecado no es tan simple como parece. Debe realizarse en hornos con circulación de aire. En el momento de introducir los electrodos en el horno, la temperatura del mismo no debe superar los 100°C y las operaciones de calentamiento y enfriamiento deben efectuarse a una velocidad de alrededor de 200°C/hr., para evitar la fisuración y/o fragilización del revestimiento.

**Tabla N° 03.** Recomendaciones para el resecado de electrodos

Electrodo		Acondicionamiento del depósito (en cajas cerradas)	Mantención electrodos (en cajas abiertas)
Clase	Tipo		
EXX10 EXX11	Celulósico Celulósico	Temperatura ambiente	No recomendado
EXX12 EXX13 EXX14 EXX24	De rutilo (Fe) De rutilo (Fe) De rutilo (Fe) De rutilo (Fe)	Temperatura de 15° más alta que la temperatura ambiente, pero menor de 60°C o humedad relativa ambiente menor a 50%.	10°C a 20°C sobre la temperatura ambiente.
EXX15 EXX16 EXX18 EXX48 Inox. E70 E120	Básico Básico Básico (Fe) Básico (Fe) De rutilo o básico Básico	Temperatura 20°C más alta que la temperatura ambiente pero menor de 60°C o humedad relativa ambiente menor de 50%.	30°C a 140°C sobre la temperatura ambiente.

Fuente: Catalogo de Indura.

**Tabla N° 04.** Recomendaciones para el uso de electrodos de bajo hidrógeno

<p>Para soldadura normal de bajo contenido de hidrogeno con control razonable de nivel de hidrogeno y precauciones rutinarias de calor abortado y precalentamiento.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Electrodos en envases no herméticos o dañados y electrodos que han sido expuestos a atmosfera normal por más de 2 hrs. Deben ser resecados antes de usarlos.</li> <li>2. Electrodos en envases no herméticos pueden usarse sin resecar para la soldadura de aceros de menos de 50 kg/mm2 de resistencia en situaciones de bajo embridamiento o cuando la experiencia muestra que no ocurran fisuras.</li> <li>3. Los electrodos deben mantenerse en termos de 30°C a 140°C sobre la temperatura ambiente.</li> </ol>
<p>Para soldadura crítica de bajo contenido de hidrogeno, con extremo control de nivel de hidrogeno en estructuras importantes y materiales de alto carbono o baja aleación con resistencia mínima mayor de 50 kg/mm2</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Siempre deben resecarse los electrodos antes de usar.</li> <li>2. Los electrodos deben mantenerse en termos de 30°C a 140°C sobre temperatura ambiente.</li> <li>3. Los electrodos resecados expuestos por más de 1 hr. A atmosfera normal deben volver a resecarse.</li> </ol>
<p>Para soldadura general donde se usan los electrodos por sus buenas propiedades mecánicas o calidad radiográfica pero no se requiere un nivel bajo de hidrogeno en el metal depositado.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los electrodos pueden utilizarse directamente a partir de cualquier tipo de envase siempre que hayan permanecido almacenados en buenas condiciones.</li> </ol>

Fuente: Catalogo de Indura.

### 2.1.16. Condiciones generales del depósito

El depósito o espacio destinado al almacenamiento de electrodos revestidos debe garantizar el aislamiento de la humedad, por lo tanto, techos, paredes y pisos deben estar en perfecto estado de conservación.

Deberá disponer de estanterías o racks para colocar los empaques de electrodos fuera del contacto con el piso.

Deberá tener iluminación suficiente que permita la fácil ubicación e identificación del producto.

#### **2.1.16.1. Condiciones ambientales**

Es suficiente almacenar a temperatura ambiente en depósitos secos, libres de grasa, suciedad o cualquier otro agente contaminante, siempre y cuando el porcentaje de humedad relativa del ambiente sea menor a 70%. Caso contrario, debería colocarse luminarias para contrarrestar la humedad relativa, lo cual ayudará a evitar que el electrodo revestido absorba humedad con el transcurrir del tiempo.

#### **2.1.17. Recomendaciones para el almacenamiento**

Para preservar el producto y evitar la absorción de humedad, el empaque de electrodos debe mantenerse en buenas condiciones que garantice su hermeticidad; por lo tanto:

- No debe apilarse más de seis (6) cajas para evitar el maltrato de los empaques, así como también el posible deterioro del revestimiento de los electrodos.
- Cuando se almacena en paletas de madera, debe tenerse el cuidado de no colocar una sobre la otra, para evitar los daños mencionados en el punto anterior.

- No debe colocarse empaques de electrodos directamente en contacto con el piso, colocarlos sobre paleta de madera.
- Coloque los empaques de electrodos revestidos en compartimientos separados por grupo y clasificación: aceros al carbono, aceros de baja aleación, aceros inoxidable, para fundición de hierro o recargue duro, según sus correspondientes clasificaciones AWS.
- Situarlos de tal forma que se consuma primero el lote más antiguo; Método primero que entra, primero que sale.
- Al realizar el movimiento de los electrodos revestidos, se debe tener cuidado de no golpear los empaques ni dejarlos caer para evitar deterioro del revestimiento y/o del empaque; en este último caso, podría perderse la hermeticidad del mismo.
- Cuando las condiciones de almacenaje no son cumplidas, el revestimiento del electrodo podría absorber humedad, lo cual puede afectar la sanidad del cordón de soldadura.

#### **2.1.18. Reacondicionamiento o resecado de electrodos**

Aquellos electrodos que han absorbido humedad más allá de los límites recomendados por la norma requieren ser reacondicionados, a fin de devolver a los electrodos sus características.

La operación de resecado debe realizarse en hornos con circulación de aire.

En el momento de introducir los electrodos en el horno, la temperatura del mismo no debe superar los 100 °C y las operaciones de calentamiento y enfriamiento deben efectuarse a una velocidad de alrededor de 200 °C / H, condición necesaria para evitar la fisuración y/o fragilización del revestimiento.

Las condiciones de mantención, almacenamiento y resecado de electrodos se indican en la tabla N° 4.

El reacondicionamiento o resecado de electrodos se debe realizar cuando estos hayan absorbido más humedad del límite recomendado por la norma internacional, ya que debido a esto pueden perder sus características iniciales, y por supuesto, su funcionalidad.

Por lo tanto, estos procesos le proporcionarán a usted la oportunidad de recuperar el estado óptimo de sus electrodos, y con esto, aumentar los niveles de aprovechamiento de sus insumos.

### **¿Cómo se hace el reacondicionamiento o resecado de electrodos?**

Para que las operaciones de reacondicionamiento o resecado sean completamente exitosas, deben realizarse bajo ciertas especificaciones. Entre ellas, le recomendamos ampliamente basarse en 3 consideraciones esenciales:

- Realizarse en hornos con circulación de aire.
- En el momento que usted introduzca los electrodos, la temperatura no debe superar los 100 grados.

- Por otro lado, para que usted evite posibles fragilizaciones o fisuraciones del revestimiento del electrodo, las operaciones de calentamiento y enfriamiento deberán realizarse a una velocidad de 200 grados.

### 2.1.19. Hornos para restauración

Los revestimientos de los electrodos de soldadura absorben rápidamente la humedad atmosférica cuando se sacan de la lata. Esta humedad contiene hidrógeno que eventualmente entrará en la soldadura y causará grietas.

El Keen KHT-200 es un horno industrial eléctrico de alta temperatura que está diseñado para la restauración de electrodos revestidos para soldadura manual de metal por arco. Tiene una capacidad de almacenaje de 200 lb. y un rango de temperatura de Ambiente-999°F (Ambiente-537°C).



**Figura N° 06.** Horno Keen KHT-200

### 2.1.20. Defectos de soldadura

Un defecto de soldadura es considerado como una discontinuidad que a su vez resulta de una alteración de las propiedades normales de un metal, vinculando una variación de la estructura típica de la soldadura, falta de

homogeneidad en la composición química, mecánica, metalúrgica o características físicas del material base o de aporte.

A continuación, se detallan los defectos de soldadura más frecuentes.

DEFECTOS	CAUSAS	SOLUCIONES
<p><b>POROSIDAD</b></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Arco corto</li> <li>2. Corriente inadecuada.</li> <li>3. Electrodo defectuoso.</li> <li>4. Excesiva concentración de hidrogeno, nitrógeno u oxígeno en la atmosfera de la soldadura.</li> <li>5. Excesiva humedad en el electrodo o en el metal base.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Averiguar si hay impurezas en el metal base.</li> <li>2. Usar corriente adecuada.</li> <li>3. Utilizar el vaivén para evitar sopladuras.</li> <li>4. Usar un electrodo adecuado para el trabajo.</li> <li>5. Mantener el arco más largo.</li> <li>6. Usar electrodos de bajo contenido de hidrogeno.</li> <li>7. Usar recomendaciones de mantenimiento y recuperación de electrodos limpiar y precalentar superficies.</li> </ol>
<p><b>FALTA DE FUSION</b></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calentamiento desigual o irregular.</li> <li>2. Orden (secuencia) inadecuado de operación.</li> <li>3. Contracción del metal aporte.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Puntear la unión o sujetar las piezas con prensas.</li> <li>2. Conformar las piezas antes de soldarlas.</li> <li>3. Eliminar las tensiones resultantes de la laminación o conformación antes de soldar.</li> <li>4. Distribuir la soldadura para que el calentamiento sea uniforme.</li> <li>5. Inspeccionar la estructura y disponer una secuencia (orden) lógica de trabajo.</li> </ol>
<p><b>INCLUSIONES</b></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Poco cuidado en la limpieza de escoria entre pasos, de los cordones de soldadura.</li> <li>2. Inclusión de escoria a la orilla del cordón en forma intermitente y escalonada.</li> <li>3. El corte y la superficie de los biseles quedo irregular.</li> <li>4. Técnica incorrecta al manipular la soldadura.</li> <li>5. El voltaje y amperaje son inadecuados al tamaño del metal base.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cepille y cincele la escoria al finalizar cada uno de los pasos del cordón.</li> <li>2. Remueve la escoria de la orilla usando una técnica apropiada y evite realizar la corona y el dibujo del contorno, para no atrapar la escoria entre pases.</li> <li>3. Alise la superficie de los biseles que queden limpios y uniformes.</li> <li>4. Corrija los valores eléctricos en su máquina de soldar.</li> <li>5. Cambiar el tipo de electrodo y usar electrodos en buen estado.</li> </ol>
<p><b>FALTA DE PENETRACIÓN</b></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Velocidad excesiva.</li> <li>2. Electrodo del diámetro excesivo.</li> <li>3. Corriente muy baja.</li> <li>4. Preparación deficiente.</li> <li>5. Electrodo de diámetro pequeño.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Usar la corriente adecuada soldar con lentitud necesaria para lograr buena penetración de raíz.</li> <li>2. Velocidad adecuada.</li> <li>3. Calcular correctamente la penetración del electrodo.</li> <li>4. Elegir un electrodo de acuerdo con el tamaño de bisel.</li> <li>5. Dejar suficiente separación en el fondo del bisel.</li> </ol>
<p><b>PENETRACIÓN EXCESIVA</b></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Corriente muy elevada.</li> <li>2. Posición inadecuada del electrodo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disminuir la intensidad de la corriente.</li> <li>2. Mantener el electrodo a un ángulo que facilite el llenado del bisel.</li> </ol>

<p><b>SOCAVACIÓN</b></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Manejo defectuoso del electrodo.</li> <li>2. Selección inadecuada del tipo de electrodo.</li> <li>3. Corriente muy elevada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Usar vaivén uniforme en las soldaduras al tope.</li> <li>2. Usar electrodo adecuado.</li> <li>3. Evitar un vaivén exagerado.</li> <li>4. Usar corriente moderada y soldar lentamente.</li> <li>5. Sostener el electrodo a una distancia prudente del plano vertical al soldar filetes horizontales.</li> </ol>
<p><b>DEFORMACIÓN</b></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calentamiento desigual o irregular.</li> <li>2. Orden (Secuencia) inadecuado de operación.</li> <li>3. Contracción del metal aporte.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Puntear la unión o sujetar las piezas con prensas.</li> <li>2. Conformar las piezas antes de soldarlas.</li> <li>3. Eliminar las tensiones resultantes de la laminación o conformación antes de soldar.</li> <li>4. Distribuir la soldadura para que el calentamiento sea uniforme.</li> <li>5. Inspeccionar la estructura y disponer una secuencia (orden) lógica del trabajo.</li> </ol>
<p><b>COMBADURA</b></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseño inadecuado.</li> <li>2. Contracción del metal de aporte.</li> <li>3. Sujeción defectuosa de las piezas.</li> <li>4. Preparación deficiente.</li> <li>5. Recalentamiento en la unión,</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Corregir el diseño.</li> <li>2. Martillar ( con martillo de peña ) los bordes de la unión antes de soldar.</li> <li>3. Aumentar la velocidad de trabajo (avance).</li> <li>4. Evitar la separación excesiva entre piezas.</li> <li>5. Fijar las piezas adecuadamente.</li> <li>6. Usar un respaldo enfriador.</li> <li>7. Adoptar una secuencia de trabajo.</li> <li>8. Usar electrodos de alta velocidad y moderada penetración.</li> </ol>
<p><b>GRIETAS</b></p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Electrodo inadecuado.</li> <li>2. Tamaño desproporcionado de la junta respecto al espesor de la pieza.</li> <li>3. Soldaduras defectuosas</li> <li>4. Preparación defectuosa.</li> <li>5. Unión rígida.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Para eliminar juntas rígidas adoptar un diseño de estructura y el método adecuado.</li> <li>2. Adaptar el diámetro del electrodo al espesor de las piezas.</li> <li>3. Evite soldaduras de cordones en serie.</li> <li>4. Mantenga los bordes de la junta sin sujeción el máximo tiempo posible.</li> <li>5. Haga soldaduras resistentes de buena fusión.</li> <li>6. Caliente las piezas previamente.</li> <li>7. Procura que la junta tenga una separación libre entre planchas uniforme y adecuada.</li> <li>8. Trabaje con el amperaje más bajo posible.</li> <li>9. Utilice electrodos de bajo hidrogeno.</li> </ol>

## 2.2. ANTECEDENTES

Brito (2014) en su trabajo de investigación el objetivo fue reparar y automatizar un horno eléctrico de mantenimiento y resecado de electrodos recubiertos de soldadura SMAW, y además permitir al operador monitorear estos procesos mediante un software de gerenciamiento a distancia. Se presenta el procedimiento y los resultados de las pruebas de funcionamiento y de reducción de humedad del revestimiento, en este punto se concluyó que todos los sistemas del horno funcionan correctamente y cumplen con las exigencias del proceso, y además, que el horno está en condiciones óptimas para reducir el exceso de humedad de electrodos revestidos hasta los niveles indicados por la norma AWS A5.1.

Telenchana (2013) en su trabajo de investigación realizó el análisis revestimientos duros con electrodos AGA B84, AGA B85 y E-7018 en juntas soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW, el mismo que tiene por objeto analizar y comparar las propiedades mecánicas de dichos materiales de aporte.

Por último, se desarrolló un procedimiento con el electrodo que obtuvo mejor combinación en sus propiedades mecánicas, el cual servirá de guía para la aplicación como revestimiento duro en parches de reparación en la parte inferior interna del cucharón de una pala mecánica, con el fin de disminuir costos por adquisición de uno nuevo. Cabe destacar que realizado esta guía de aplicación podrá ser utilizada en pequeñas y grandes industrias, donde se requiera dar un recubrimiento protector en diferentes piezas mecánicas sometidas a desgaste por abrasión.

Rosero (2012) su trabajo consiste en lograr un diseño y construcción de un horno para conservación de electrodos revestidos con la finalidad de eliminar el exceso de humedad retenida en los mismos luego de ser abiertos de su empaque original, que repercute en gran medida en la existencia de ciertos defectos de soldadura a nivel de las bases de las carrocerías metálicas, bases que a su vez soportan todo el peso de la carrocería. Finalmente, se ha realizado una evaluación de los diferentes componentes que pueden mejorar el equipo de secado a fin de que funcione el mismo dentro de los requerimientos de tiempos y temperaturas de secado que determina la norma AWS A5.1-81.

Gómez *et al.*, (2011) en su trabajo estudió el comportamiento de electrodos recubiertos destinados al relleno superficial con el proceso de soldadura manual (SMAW, Shielded Metal Arc Welding). Para el diseño experimental se aplican un procedimiento de cálculo para el revestimiento y un plan de mezclas del tipo Mc. Lean Anderson. En el diseño se conjuga una matriz compuesta por Calcita (26,73 %), Ferro silicio (19,02 %), Ferromanganeso (16,58 %), Rutilo (26,69 %), Silicato de Potasio (11,70 %) y diferentes cargas de aleación conformadas por Grafito ( $2 \leq X_1 \leq 10$  %), Ferro Cromo ( $5 \leq X_2 \leq 35$  %), Ferro tungsteno ( $5 \leq X_3 \leq 10$  %) y matriz ( $60 \leq X_4 \leq 80$  %). En el trabajo se ofrecen criterios sobre la selección de los niveles límites a explorar durante el plan experimental, a partir de consideraciones sobre los materiales empleados, sus rangos y el procedimiento de fabricación de los electrodos.

Muñoz (2008) en su tesis busca mejorar el proceso productivo de una empresa de electrodos revestidos ubicada en la ciudad de Guayaquil. La producción de este tipo de elementos de soldadura a nivel mundial se está viendo afectada por la introducción de nuevos productos y métodos, lo que

ocasiona que las empresas que se han especializado en la fabricación de electrodos revestidos refuercen sus procedimientos y mantengan o mejoren la productividad de sus líneas para poder mantenerse en el mercado a largo plazo. Al término de la tesis se hace una propuesta de mejora valiosa que sirve para incrementar la eficiencia y productividad del proceso de fabricación de electrodos, utilizando un modelo de simulación y las técnicas de control de la producción.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES

##### 3.1.1. Técnica

Observación y medición.

##### 3.1.2. Infraestructura

El proyecto se realizó en la ciudad de Juliaca en la empresa metal mecánica “Arte Industrial E.I.R.Ltda.” Ubicado en el Jr. Samán N° 237 con Av. 3 de octubre - San José segunda etapa Salida a Cuzco.

##### 3.1.3. Equipos e insumos

- Máquina de soldar Hobart AC/TC 330
- Electrodo tipo celulósico E 6011
- Electrodo tipo rutílico E 6013
- Electrodo de bajo hidrógeno E7018

- Balanza digital
- Horno de secado Keen KHT-200
- Sensor de temperatura
- Herramientas menores
- Norma AWS A5.1.

#### **3.1.4. Tecnología**

- Metalurgia de la Soldadura
- Termodinámica metalúrgica
- Ensayos no destructivos

### **3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.2.1. Enfoque investigativo**

- Enfoque de tipo cuantitativo debido a que se va a realizar la obtención de una serie de datos provenientes de los ensayos realizados, los mismos que van a ser empleados para posterior tabulación y verificación de la hipótesis.
- Enfoque cualitativo, esto en función de los resultados que se obtendrán de las investigaciones en los lugares afines al tema del proyecto a investigar, la información proviene principalmente de la norma AWS A5.1-81, realizando posteriormente el análisis de dicha información.

- Las fuentes primarias nos proporcionarán información de primera mano cómo en libros, tesis, documentales, internet, etc. Las secundarias son resúmenes y listados de referencias que estén vigentes en determinadas áreas de estudio.

### **3.2.2. Modalidad básica de investigación**

- Investigación de campo: al considerar que el proyecto se realizará en las instalaciones de los talleres el arte, ubicadas en la ciudad de Juliaca y se requiere datos sobre las condiciones en las que va a trabajar el horno Eléctrico, para garantizar de esta manera su correcto funcionamiento.
- Modalidad experimental: ya que una vez funcionando el horno de conservación de electrodos revestidos, se someterá a los mismos a diferentes ensayos a fin de comprobar que se conserve el grado de humedad adecuado en su revestimiento, el mismo que le da sus bondades y propiedades físicas y mecánicas vitales en el proceso de soldadura.
- Investigación de tipo bibliográfica ya que toda la investigación lleva el fin principal de comparar con la norma AWS A5.1-81.

### **3.3. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1. Descriptivo**

El tipo de investigación es descriptivo ya que para el desarrollo del proyecto se describirá tanto la variable dependiente como la independiente, también se describirán los recursos materiales que se necesitarán para la consecución del proyecto.

### 3.3.2. Explicativo

Mediante este ítem se considera que a través de esta investigación se podrá determinar que los elementos conocidos como electrodos funcionen de una manera óptima a fin de que no se pierdan las bondades y características propias de los diferentes revestimientos al momento de realizar juntas soldadas, además de disminuir en cierta proporción los defectos de soldadura en el área de soldadura de estructuras metálicas.

### 3.3.3. Asociación de variables

En la asociación de variables se realiza la respectiva comparación de la variable dependiente e independiente ya que ambas están enlazadas respectivamente, para llegar a un fin común.

**Variable Independiente:** Influencia de la humedad del aire en los electrodos de soldadura SMAW

**Variable Dependiente:** Incidencia en la calidad de los productos soldados

## 3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

- Se seleccionaron como muestra electrodos de tipo de bajo hidrógeno E7018, rutílico E6013 y celulósico E6011 del fabricante Indura y tomando en consideración la tabla del Anexo 1 norma AWS A5.1-81.
- Se ha utilizado una muestra de 2 Kg de electrodos 7018 del fabricante Indura, además se conoce que un electrodo 7018 de diámetro 3.2mm (nuevo recién sacado del empaque) pesa: 35.7g, y que en 2 Kg. de electrodos 7018 Indura hay 56 unidades.

- Se ha utilizado una muestra de 2 Kg de electrodos 6013 del fabricante Indura, además se conoce que un electrodo 6013 de diámetro 3.2mm (nuevo recién sacado del empaque) pesa: 34.4827 g, y que en 2 Kg. de electrodos 6013 Indura hay 66 unidades.
- Se ha utilizado una muestra de 2 Kg de electrodos 6011 del fabricante Indura, además se conoce que un electrodo 6011 de diámetro 3.2mm (nuevo recién sacado del empaque) pesa: 26.31 g, y que en 2 Kg. De electrodos 6011 Indura hay 76 unidades.

### **3.5. PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Toda la información se recolectó en un cuaderno de notas, en el cual se registraron todos los datos tomados de los diferentes ensayos de secado realizados, posteriormente con los datos recolectados se realizaron las tabulaciones respectivas con lo que se obtuvo gráficos de humedad vs temperatura a diferentes intervalos de tiempo, gráficos de datos a partir de los cuales se podrá determinar y comprobar de esta manera la hipótesis planteada.

La técnica de la observación permite recopilar información principalmente las características de la parte operativa del horno, los datos recopilados ayudarán a la implementación de mejoras en el mismo.

La técnica de la experimentación permitió recolectar toda la información de las pruebas para el funcionamiento del proyecto bajo diferentes parámetros, mediante los cuales se definieron los cambios necesarios para lograr el funcionamiento óptimo a fin de que los datos coincidan con los recomendados en las normas AWS.

Hay que tener en cuenta que se sometieron a ensayo por cada tipo de electrodo revestido seleccionado 2 Kg. y mediante la muestra obtenida anteriormente se obtuvieron datos de los electrodos que se someterán a diferentes temperaturas que seguirán aumentando conforme se ejecuten los diferentes ensayos, teniendo en cuenta que en los mismos siempre se consideren realizarlos según el tipo de revestimiento.

### **3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Se utilizó el programa MICRO SOFT EXCEL; el cual permitió conocer los parámetros de la presente investigación para luego contrastar los resultados obtenidos del presente estudio con la normativa AWS.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se seleccionaron como muestra electrodos de tipo de bajo hidrógeno E7018, rutílico E6013 y celulósico E6011 del fabricante Indura; puesto que este electrodo es el más utilizado para ensayos en el laboratorio de soldadura, y además es uno de los más exigentes en cuanto al contenido de humedad relativa del revestimiento.

Para realizar estas pruebas se tomó en cuenta las recomendaciones de la norma AWS A5.1.

Posteriormente se consideró realizar dos tipos de ensayos para determinar los niveles de humedad:

**Primero:** Se lo realizó al humedecer intencionalmente los revestimientos de los electrodos, esto con el fin primordial de simular una condición extrema de humedad sumergiéndolo en agua durante 5 minutos.

**Segundo:** El ensayo consistió en dejar a la intemperie durante un tiempo considerable a los electrodos a fin de que la humedad del ambiente penetre en

el revestimiento de los mismos y así con lo que en ambos casos se pueda determinar el exceso de humedad absorbida y por consecuencia recuperarlos al valor de humedad recomendado por la norma.

#### **4.1. PRUEBA DE REDUCCION DE HUMEDAD DEL ELECTRODO DE BAJO HIDROGENO E7018 SUMERGIDO EN AGUA**

Para realizar esta prueba se ha utilizado una muestra de 2 Kg de electrodos 7018 del fabricante Indura, además se conoce que un electrodo 7018 de diámetro 3.2mm (nuevo recién sacado del empaque) pesa: 34.48 g. y que en 2 Kg. de electrodos 7018 Indura hay 58 unidades. (ver tabla anexa 01).

Se sumergió completamente en agua durante 5 minutos los 58 electrodos 7018, con el fin de simular la situación de humedad más extrema.

Luego se sacó del agua y se dejó escurrir el electrodo unos minutos más e inmediatamente se realizó el pesaje de cada electrodo, obteniéndose un valor promedio de 37.80 g. por cada electrodo.

Posteriormente se introdujeron los electrodos al horno a temperaturas de 50, 100, 200, 250, 300 y 350 °C; para esto, se repartió la muestra en cinco grupos de 11 electrodos.

Para realizar las pruebas de recuperación de electrodos se procedió a realizar tomas de peso uno a uno los electrodos de cada grupo al cabo de 0, 30, 60, 90 y 120 minutos del tiempo de calentamiento hasta llegar a los 120 minutos requeridos por la norma.

#### 4.1.1. Prueba de reducción de humedad a 50 °C

En la Tabla 6 se muestra la recolección de datos de peso del primer grupo de electrodos sometidos a prueba a temperatura de 50°C en distintos intervalos de tiempo, además al final de cada columna se observa el promedio de peso para cada tiempo de resecado.

**Tabla N° 05.** Pesaje de electrodos 7018 resecados a 50°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 50 °C			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1	37.58	37.27	36.95	36.63
2	37.57	37.26	36.96	36.63
3	37.56	37.25	36.97	36.64
4	37.56	37.25	36.97	36.65
5	37.59	37.28	36.94	36.65
6	37.6	37.29	36.93	36.66
7	37.6	37.29	36.93	36.62
8	37.59	37.26	36.94	36.63
9	37.57	37.27	36.95	36.65
10	37.56	37.27	36.95	36.66
11	37.58	37.28	36.96	36.65
<b>promedio</b>	<b>37.58</b>	<b>37.27</b>	<b>36.95</b>	<b>36.64</b>

Fuente: Elaboración propia.

Con el valor promedio se ha calculado el contenido de humedad que absorben los electrodos en cada intervalo de tiempo, mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Hbs} = \frac{mh - ms}{ms} \times 100 \quad \text{ec. 01}$$

$\%H_{bs}$  : Humedad de cada electrodo (%)

$M_h$  : masa del electrodo húmedo (g)

$M_s$  : masa del electrodo seco (g)

A continuación, se realizan dos ejemplos de cálculo del contenido de humedad con los siguientes datos:

- El promedio de peso de los electrodos 7018 humedecidos es de 37.8 gramos a 0 minutos de resecado.
- El promedio de peso de los electrodos 7018 humedecidos que permanecieron 120 minutos a 50°C es de 36.64 gramos (Ver Tabla 6).
- El peso del electrodo 7018 nuevo seco es de 34.48 gramos (valor de referencia)

Para el tiempo de 0 minutos a 50°C

$$H_{bs} = \frac{37.80 - 34.48}{34.48} \times 100\% = 9.63$$

Para el tiempo de 120 minutos a 50 °C

$$H_{bs} = \frac{36.64 - 34.48}{34.48} \times 100\% = 6.27$$

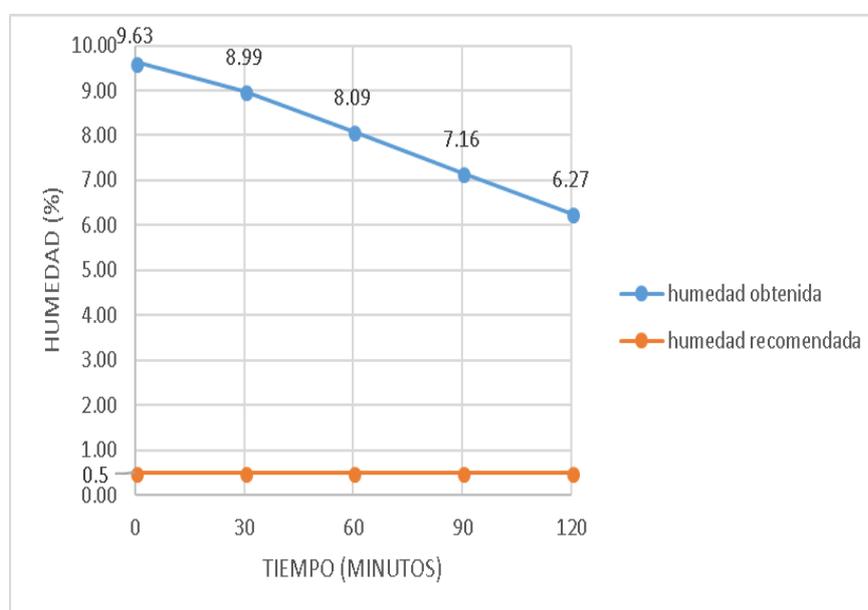
Del mismo modo se calcularon el resto de valores del contenido de humedad para cada intervalo de tiempo, estos datos se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla N° 06.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 50°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo (min)	Humedad (%)	Promedio (g)
0	9.63	37.80
30	8.99	37.58
60	8.09	37.27
90	7.16	36.95
120	6.27	36.64

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de la Tabla 7 se ha elaborado un gráfico que muestra la tendencia de variación del contenido de humedad obtenida con respecto al tiempo de resecado de los electrodos sometidos a prueba (Ver Figura 7). También se observa la línea de referencia del valor de humedad recomendada de 0.50% tomado de la norma AWS- A5.1-81.



**Figura N° 07.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 50°C

#### 4.1.2. Prueba de reducción de humedad a 100 °C

Para este ensayo se procedió de manera similar al apartado anterior, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla N° 07.** Pesaje de electrodos 7018 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

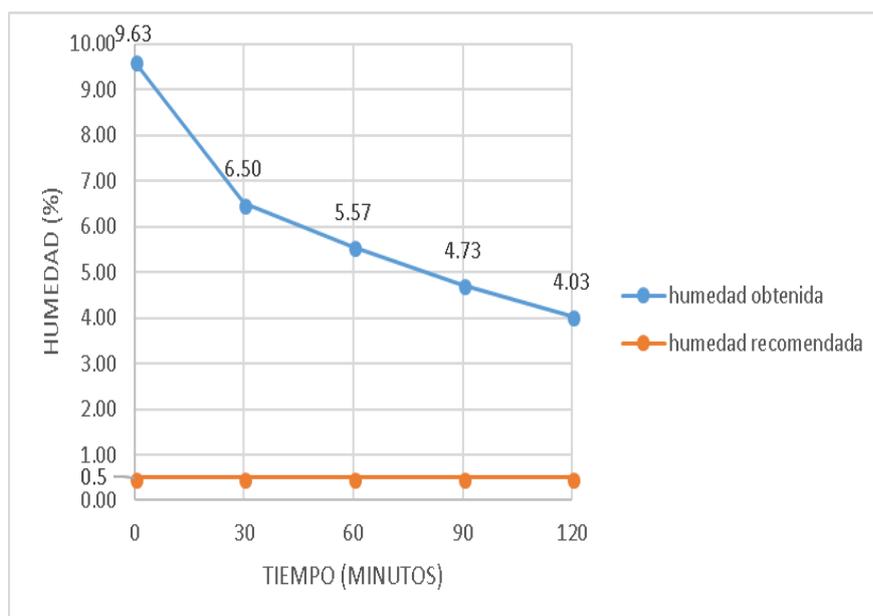
muestra	peso en gramos a la temperatura de 100 °C			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1	36.72	36.4	36.11	35.88
2	36.72	36.39	36.1	35.86
3	36.74	36.38	36.09	35.87
4	36.73	36.4	36.09	35.85
5	36.71	36.4	36.12	35.85
6	36.7	36.41	36.12	35.87
7	36.71	36.42	36.13	35.86
8	36.7	36.41	36.14	35.88
9	36.73	36.42	36.11	35.89
10	36.74	36.39	36.1	35.89
11	36.74	36.38	36.11	35.88
<b>promedio</b>	<b>36.72</b>	<b>36.40</b>	<b>36.11</b>	<b>35.87</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 08.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

tiempo	humedad	promedio
0	9.63	37.80
30	6.50	36.72
60	5.57	36.40
90	4.73	36.11
120	4.03	35.87

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 08.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 100°C

**4.1.3. Prueba de reducción de humedad a 200 °C**

**Tabla N° 09.** Pesaje de electrodos 7018 resecados a 200°C en distintos intervalos de tiempo

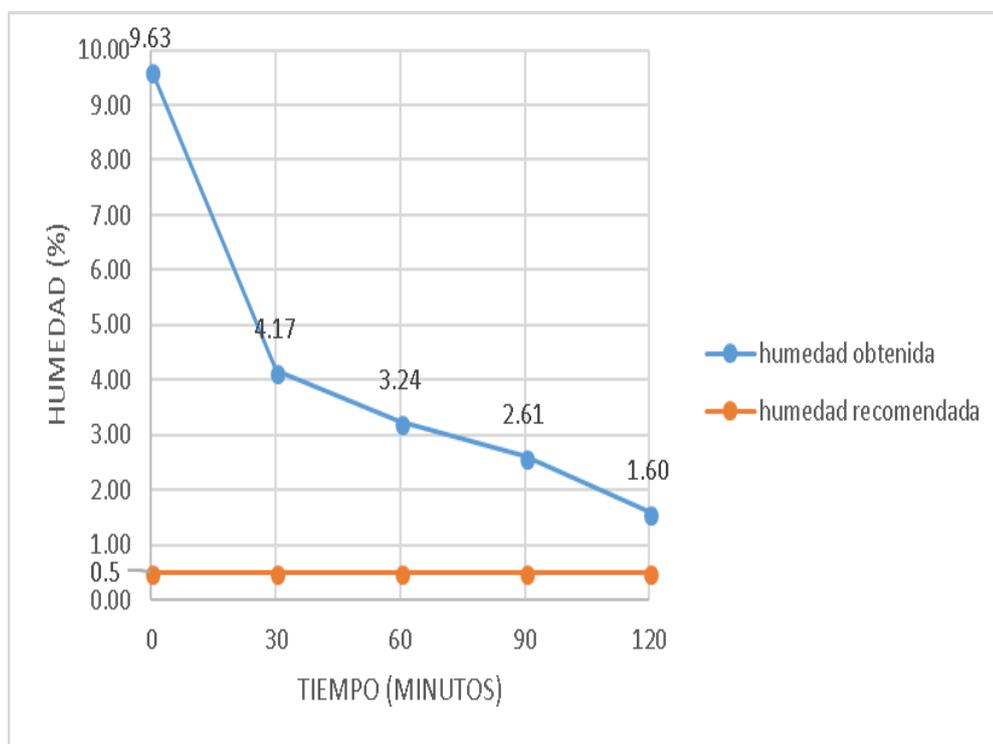
muestra	peso en gramos a la temperatura de 200 °C			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1	35.9	35.6	35.38	35.03
2	35.91	35.59	35.39	35.04
3	35.91	35.59	35.37	35.05
4	35.92	35.58	35.37	35.05
5	35.93	35.6	35.36	35.02
6	35.94	35.61	35.39	35.02
7	35.91	35.62	35.38	35.01
8	35.92	35.62	35.38	35.03
9	35.91	35.58	35.4	35.04
10	35.9	35.59	35.39	35.03
11	35.93	35.6	35.38	35.04
<b>promedio</b>	<b>35.92</b>	<b>35.60</b>	<b>35.38</b>	<b>35.03</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 10.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 200°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo (min)	humedad (%)	Promedio (g)
0	9.63	37.80
30	4.17	35.92
60	3.24	35.60
90	2.61	35.38
120	1.60	35.03

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 09.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 200°C

4.1.4. Prueba de reducción de humedad a 300 °C

**Tabla N° 12.** Pesaje de electrodos 7018 resecados a 300°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 300 °C			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1	35.17	34.98	34.74	34.66
2	35.17	34.97	34.74	34.67
3	35.18	34.97	34.75	34.68
4	35.15	34.98	34.76	34.65
5	35.16	34.99	34.76	34.68
6	35.15	34.99	34.74	34.65
7	35.14	34.98	34.73	34.64
8	35.16	34.96	34.72	34.64
9	35.16	34.96	34.72	34.66
10	35.15	34.97	34.73	34.66
11	35.18	34.98	34.75	34.67
<b>promedio</b>	<b>35.16</b>	<b>34.98</b>	<b>34.74</b>	<b>34.66</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 13.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 300°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo (min)	Humedad (%)	Promedio (g)
0	9.63	37.80
30	1.97	35.16
60	1.44	34.98
90	0.75	34.74
120	0.52	34.66

Fuente: Elaboración propia.

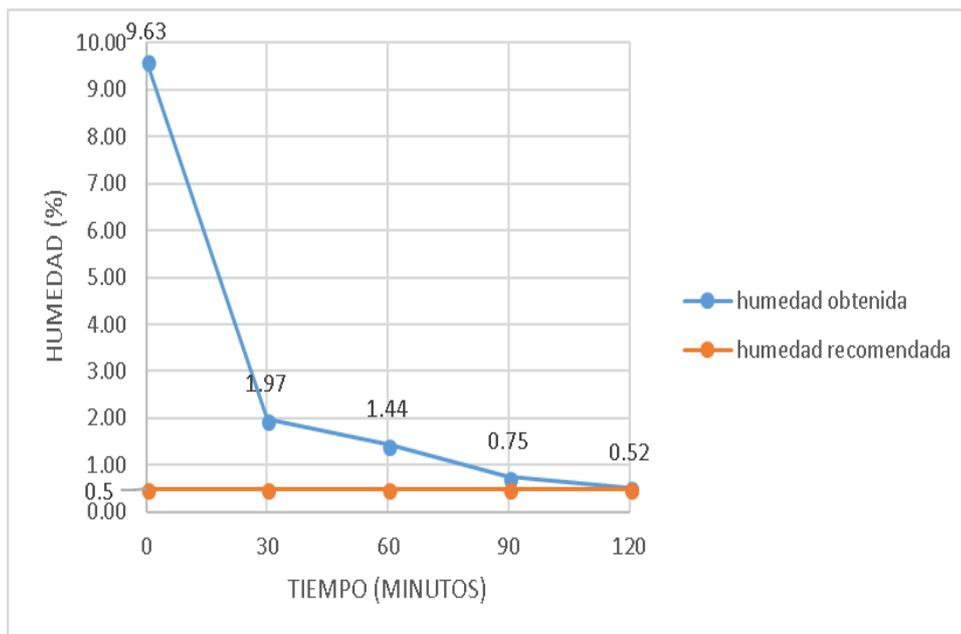


Figura N° 10. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 300°C

#### 4.1.5. Prueba de reducción de humedad a 350 °C

Tabla N° 13. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 350°C en distintos intervalos de tiempo

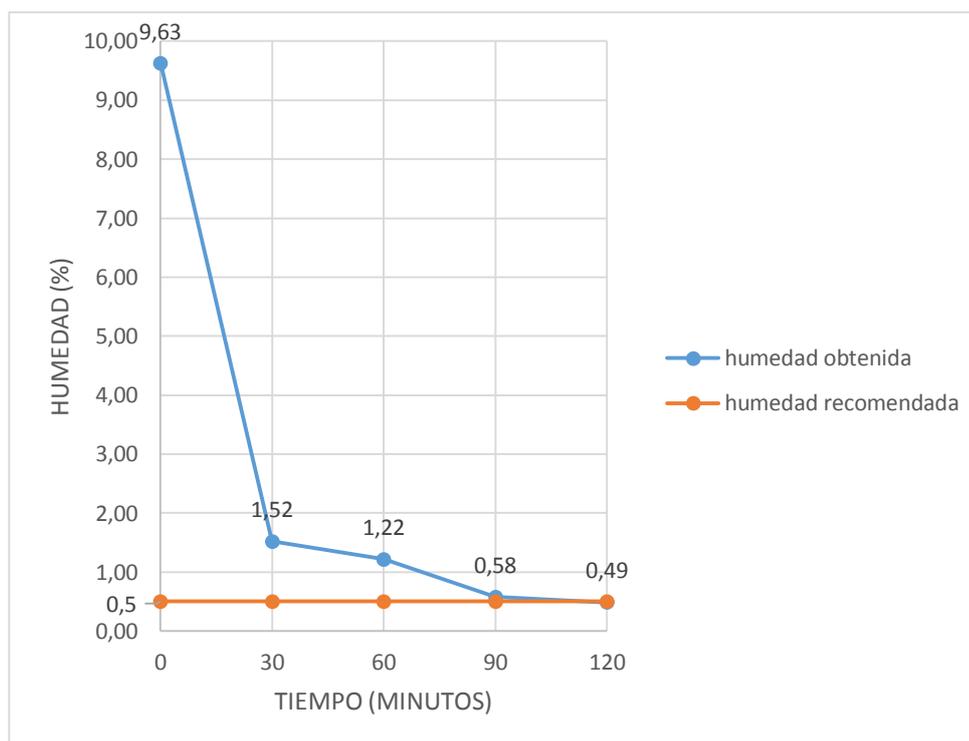
muestra	peso en gramos a la temperatura de 350 °C			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1	35	34.9	34.68	34.65
2	35.01	34.91	34.67	34.66
3	35.01	34.92	34.67	34.63
4	35.02	34.92	34.69	34.63
5	34.99	34.89	34.7	34.67
6	34.98	34.88	34.7	34.65
7	34.99	34.88	34.69	34.66
8	35.01	34.89	34.66	34.63
9	35.02	34.9	34.67	34.66
10	35	34.91	34.66	34.64
11	35.01	34.9	34.68	34.65
<b>promedio</b>	<b>35.00</b>	<b>34.90</b>	<b>34.68</b>	<b>34.65</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 14.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 350°C en distintos intervalos de tiempo

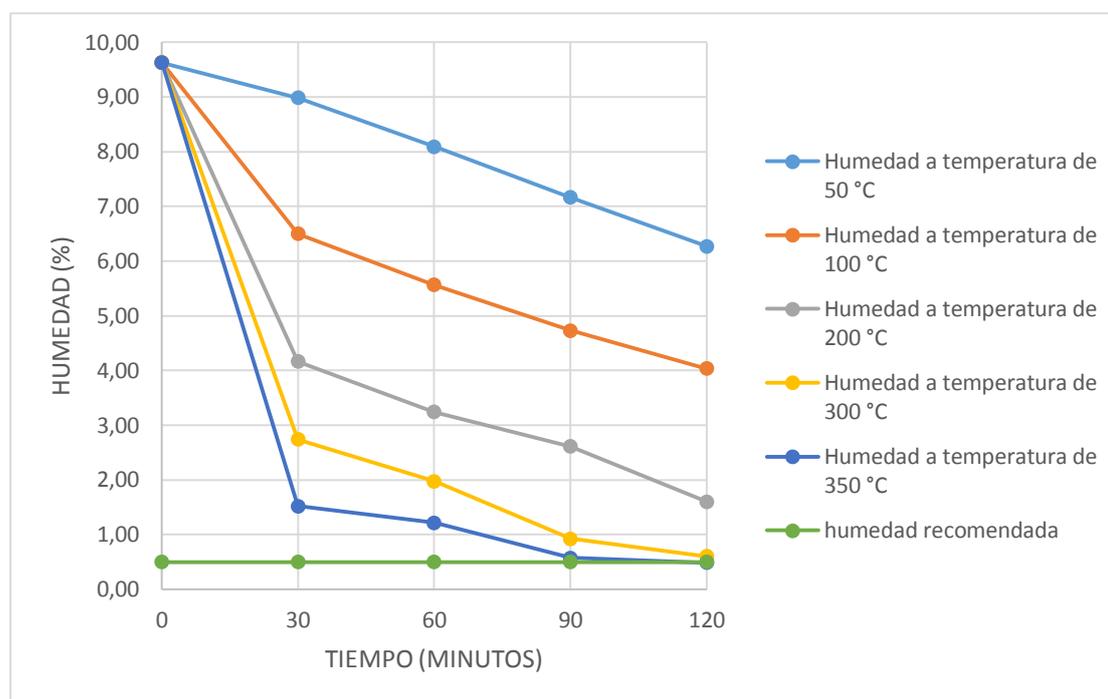
Tiempo (min)	Humedad (%)	Promedio (g)
0	9.63	37.80
30	1.52	35.00
60	1.22	34.90
90	0.58	34.68
120	0.49	34.65

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 11.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 350°C

#### 4.1.6. Análisis de resultados del electrodo de bajo hidrogeno E7018 sumergido en agua



**Figura N° 12.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a varias temperaturas

En el gráfico de la Figura 12 se observa que conforme aumenta la temperatura y el tiempo de resecado de los electrodos 7018, el porcentaje de contenido de humedad relativa disminuye y se acerca al nivel recomendado.

También se observa que, en el intervalo de 120 minutos a una temperatura de 300 °C, la humedad alcanza un valor de 0.52 %, que es muy cercano al contenido recomendado por la norma AWS A5.1 y a los 350 °C en el intervalo de 120 minutos se observa que la humedad alcanza 0.49 % debajo al contenido recomendado por la norma AWS A5.1, este dato señala que la muestra de electrodos ha sido recuperada.

Estos resultados muestran que el horno utilizado es capaz de cumplir con la función de retirar la humedad excesiva presente en el revestimiento de los electrodos, hasta los niveles indicados por la norma AWS A5.1.

De esta manera se pueden devolver las características operativas a los electrodos que han absorbido humedad más allá de los límites.

#### **4.2. PRUEBA DE REDUCCION DE HUMEDAD DEL ELECTRODO RUTILICO E6013 SUMERGIDO EN AGUA**

Se procedió de manera similar que en el anterior caso humedeciendo los revestimientos de los electrodos durante un tiempo de 5 minutos a fin de simular la situación de humedad más extrema que pueden sufrir este tipo de electrodos, para posteriormente dejarlos al ambiente hasta que dejen de gotear, para luego pesarlos con lo que se obtuvieron los resultados siguientes.

Para realizar esta prueba se ha utilizado una muestra de 2 Kg de electrodos 6013 del fabricante Indura, además se conoce que un electrodo 6013 de diámetro 3.2mm (nuevo recién sacado del empaque) pesa: 30.30 g. y que en 2 Kg. de electrodos 6013 Indura hay 66 unidades. (Ver tabla anexa 01).

Se sumergió completamente en agua durante 5 minutos los 66 electrodos 6013, con el fin de simular la situación de humedad más extrema.

Luego se sacó del agua y se dejó escurrir el electrodo unos minutos más e inmediatamente se realizó el pesaje de cada electrodo, obteniéndose un valor promedio de 31.40 g. por cada electrodo.

Posteriormente por diferencias de pesos, se determina el porcentaje de humedad inicial, mediante la aplicación de la ecuación 1.

$$\% \text{ Hbs} = \frac{mh - ms}{ms} \times 100 \quad \text{ec. 01}$$

Para el tiempo de 0 minutos a 30°C

$$\text{Hbs} = \frac{31.40 - 30.30}{30.30} \times 100\% = 3.63$$

Cabe recalcar que para este ensayo de recuperación del revestimiento del electrodo se colocaron las probetas en el horno y se programó al mismo para que las muestras sean extraídas durante un tiempo de 1 hora, considerando que fueron pesadas a los 15', 30', 45' y 60' minutos, es decir el ensayo duró a la temperatura indicada una hora según norma.

Así mismo se realizó el procedimiento anteriormente mencionado elevando las temperaturas de secado, con lo que se realizaron a los 30 °C, 45 °C, 60 °C, 100 °C y 150 °C.

La muestra se repartió en cinco grupos de 13 electrodos.

## 4.2.1. Prueba de reducción de humedad a 30 °C

**Tabla N° 15.** Pesaje de electrodos 6013 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 30 °C			
	15 min	30 min	45 min	60 min
1	31.29	31.15	31.02	30.98
2	31.30	31.16	31.03	30.97
3	31.31	31.17	31.03	30.98
4	31.28	31.15	31.04	30.99
5	31.27	31.16	31.05	30.96
6	31.29	31.14	31.04	30.95
7	31.26	31.16	31.01	30.95
8	31.25	31.18	31.01	30.96
9	31.26	31.18	31.02	30.98
10	31.24	31.17	31.04	30.97
11	31.23	31.14	31.03	30.96
12	31.25	31.15	31.05	30.96
13	31.27	31.16	31.02	30.99
<b>promedio</b>	<b>31.27</b>	<b>31.16</b>	<b>31.03</b>	<b>30.97</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 16.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo (min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	3.63	31.40
15	3.20	31.27
30	2.84	31.16
45	2.41	31.03
60	2.21	30.97

Fuente: Elaboración propia.

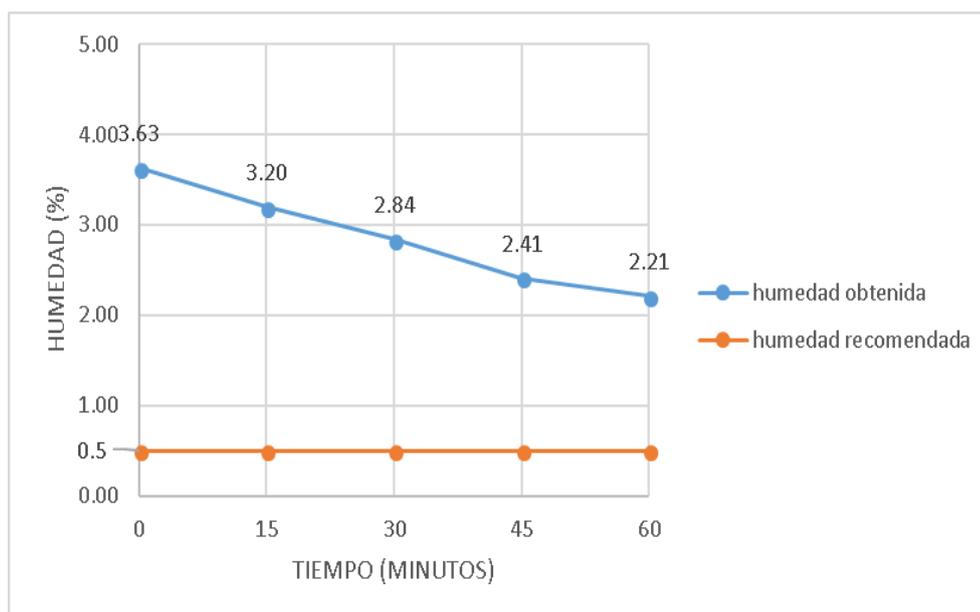


Figura N° 13. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 30°C

#### 4.2.2. Prueba de reducción de humedad a 45 °C

Tabla N° 17. Pesaje de electrodos 6013 resecados a 45°C en distintos intervalos de tiempo

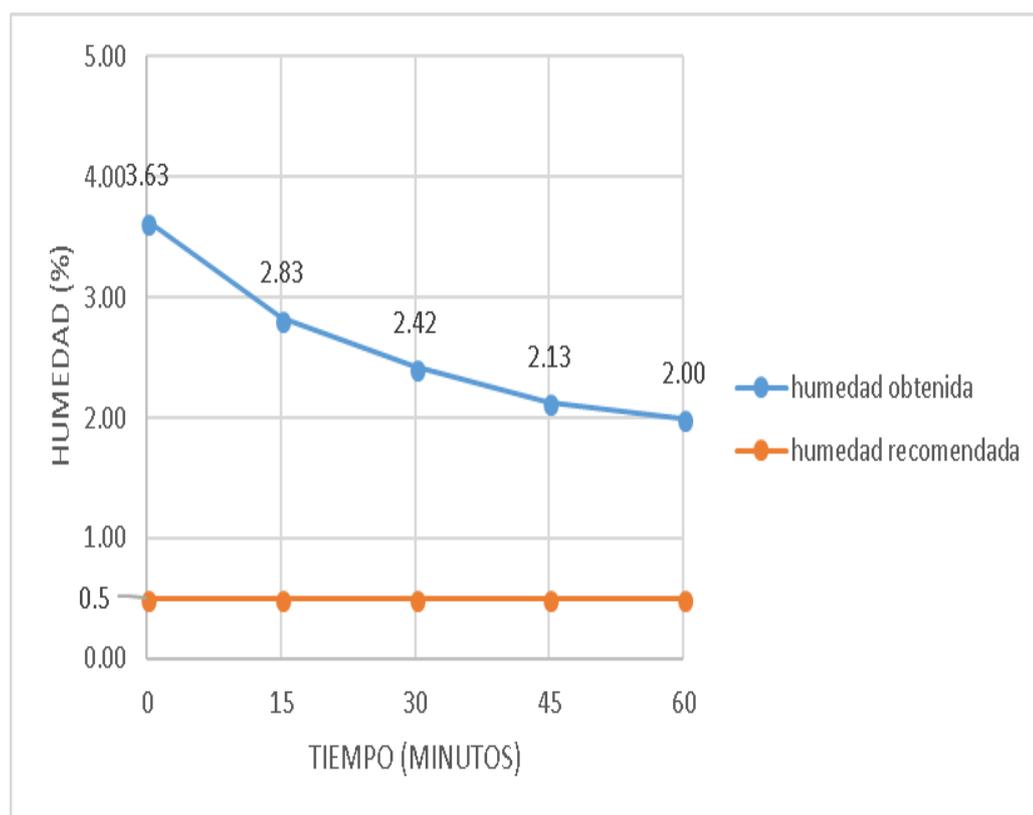
muestra	peso en gramos a la temperatura de 45 °C			
	15 min	30 min	45 min	60 min
1	31.15	31.01	30.93	30.88
2	31.16	31.02	30.95	30.87
3	31.17	31.04	30.98	30.89
4	31.17	31.07	30.99	30.92
5	31.16	31.05	30.97	30.95
6	31.14	31.03	30.94	30.94
7	31.16	31.00	30.96	30.93
8	31.17	31.02	30.91	30.91
9	31.16	31.01	30.95	30.90
10	31.15	31.04	30.93	30.88
11	31.15	31.05	30.91	30.86
12	31.14	31.03	30.92	30.92
13	31.16	31.06	30.96	30.91
<b>promedio</b>	<b>31.16</b>	<b>31.03</b>	<b>30.95</b>	<b>30.90</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 18.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 45°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	3.63	31.40
15	2.83	31.16
30	2.42	31.03
45	2.13	30.95
60	2.00	30.90

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 14.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 45°C

## 4.2.3. Prueba de reducción de humedad a 60 °C

**Tabla N° 19.** Pesaje de electrodos 6013 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 60 °C			
	15 min	30 min	45 min	60 min
1	31.04	30.91	30.87	30.81
2	31.02	30.93	30.88	30.82
3	30.98	30.97	30.85	30.81
4	31.00	30.95	30.86	30.8
5	31.01	30.98	30.85	30.8
6	31.03	30.92	30.88	30.81
7	31.05	30.94	30.86	30.79
8	30.97	30.96	30.87	30.79
9	31.02	30.93	30.89	30.82
10	31.03	30.91	30.94	30.82
11	30.96	30.92	30.83	30.81
12	31.04	30.93	30.84	30.78
13	30.99	30.94	30.82	30.78
<b>promedio</b>	<b>31.01</b>	<b>30.94</b>	<b>30.86</b>	<b>30.80</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 20.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	3.63	31.40
15	2.35	31.01
30	2.10	30.94
45	1.86	30.86
60	1.66	30.80

Fuente: Elaboración propia.

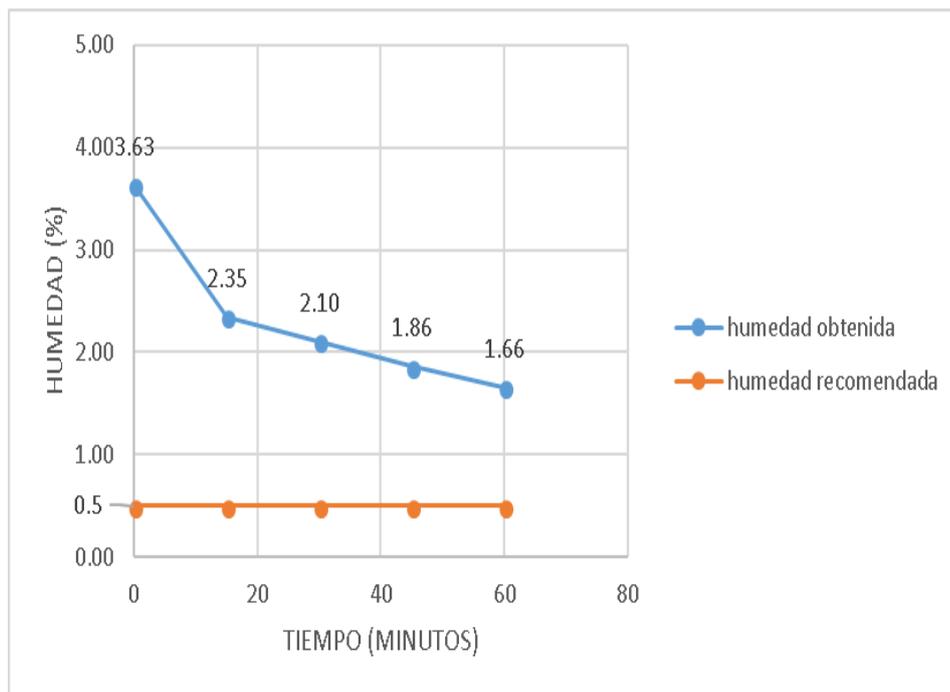


Figura N° 15. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 60°C

#### 4.2.4. Prueba de reducción de humedad a 100 °C

Tabla N° 21. Pesaje de electrodos 6013 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

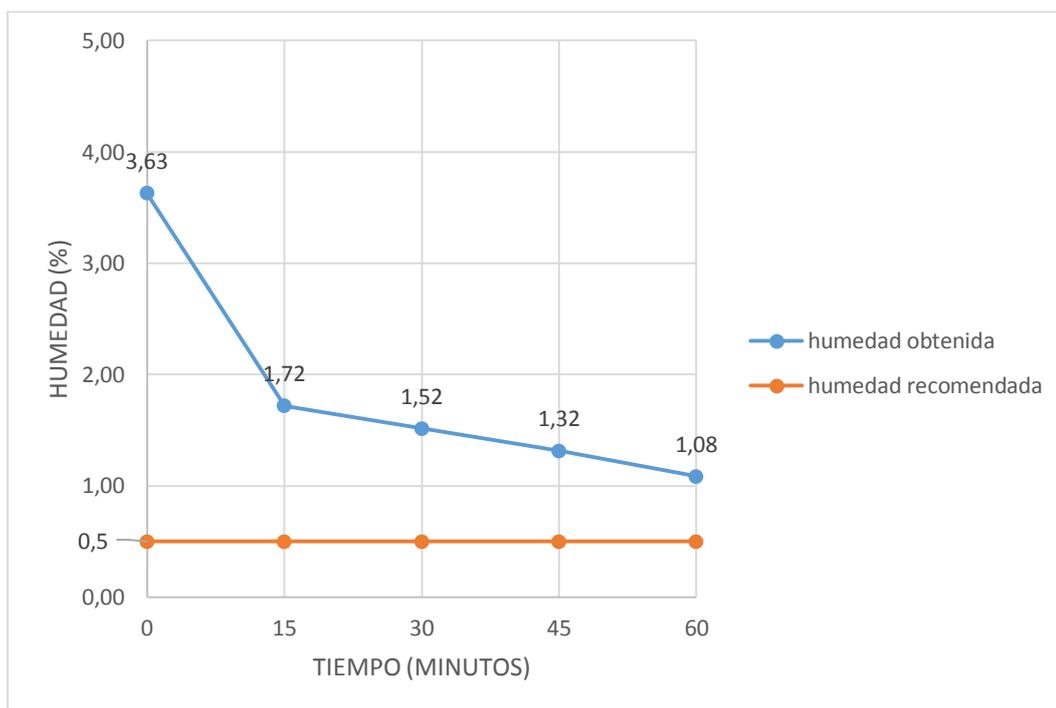
muestra	peso en gramos a la temperatura de 100 °C			
	15 min	30 min	45 min	60 min
1	30.82	30.76	30.72	30.62
2	30.82	30.77	30.7	30.61
3	30.83	30.78	30.69	30.63
4	30.84	30.76	30.7	30.62
5	30.81	30.78	30.68	30.65
6	30.80	30.75	30.72	30.63
7	30.81	30.75	30.68	30.63
8	30.83	30.77	30.71	30.61
9	30.83	30.76	30.69	30.65
10	30.80	30.76	30.7	30.61
11	30.81	30.75	30.7	30.64
12	30.84	30.74	30.71	30.63
13	30.83	30.74	30.68	30.64
<b>promedio</b>	<b>30.82</b>	<b>30.76</b>	<b>30.70</b>	<b>30.63</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 22.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	3.63	31.40
15	1.72	30.82
30	1.52	30.76
45	1.32	30.70
60	1.08	30.63

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 16.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 100°C

## 4.2.5. Prueba de reducción de humedad a 150 °C

**Tabla N° 23.** Pesaje de electrodos 6013 resecados a 150°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 150 °C			
	15 min	30 min	45 min	60 min
1	30.61	30.55	30.48	30.45
2	30.62	30.55	30.47	30.44
3	30.62	30.54	30.46	30.45
4	30.6	30.54	30.48	30.45
5	30.59	30.53	30.46	30.44
6	30.58	30.56	30.46	30.44
7	30.58	30.57	30.46	30.45
8	30.59	30.54	30.47	30.44
9	30.61	30.53	30.48	30.45
10	30.60	30.56	30.48	30.43
11	30.61	30.56	30.48	30.45
12	30.62	30.55	30.47	30.42
13	30.6	30.56	30.47	30.44
<b>promedio</b>	<b>30.60</b>	<b>30.55</b>	<b>30.47</b>	<b>30.44</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 24.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 150°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	3.63	31.40
15	1.00	30.60
30	0.82	30.55
45	0.56	30.47
60	0.47	30.44

Fuente: Elaboración propia.

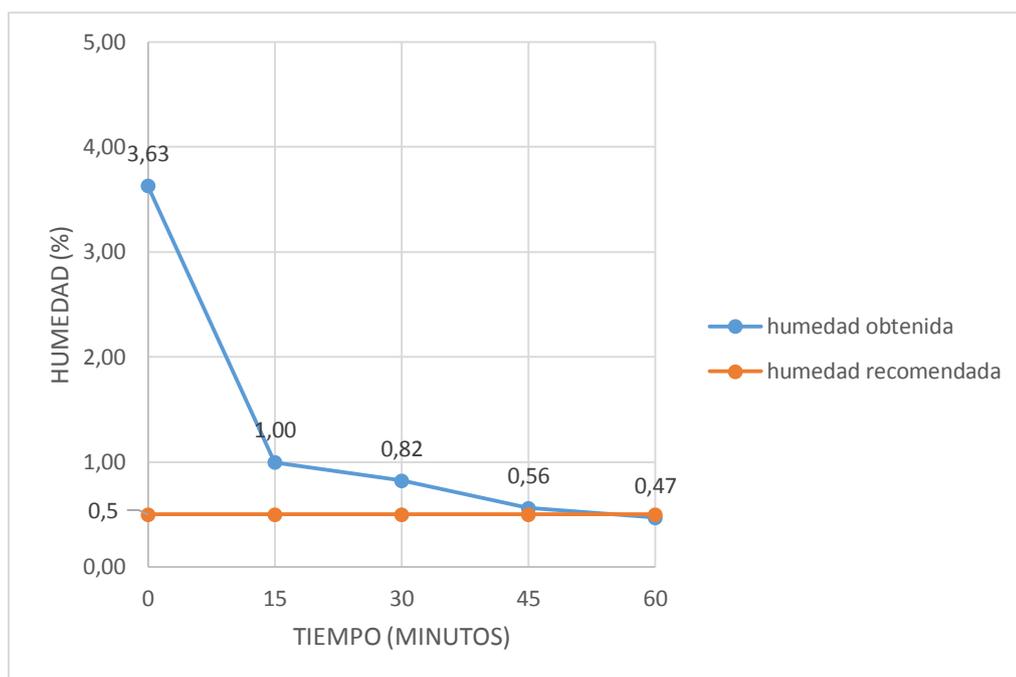


Figura N° 17. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 150°C

#### 4.2.6. Análisis de resultados del electrodo Rutílico E6013 sumergido en agua

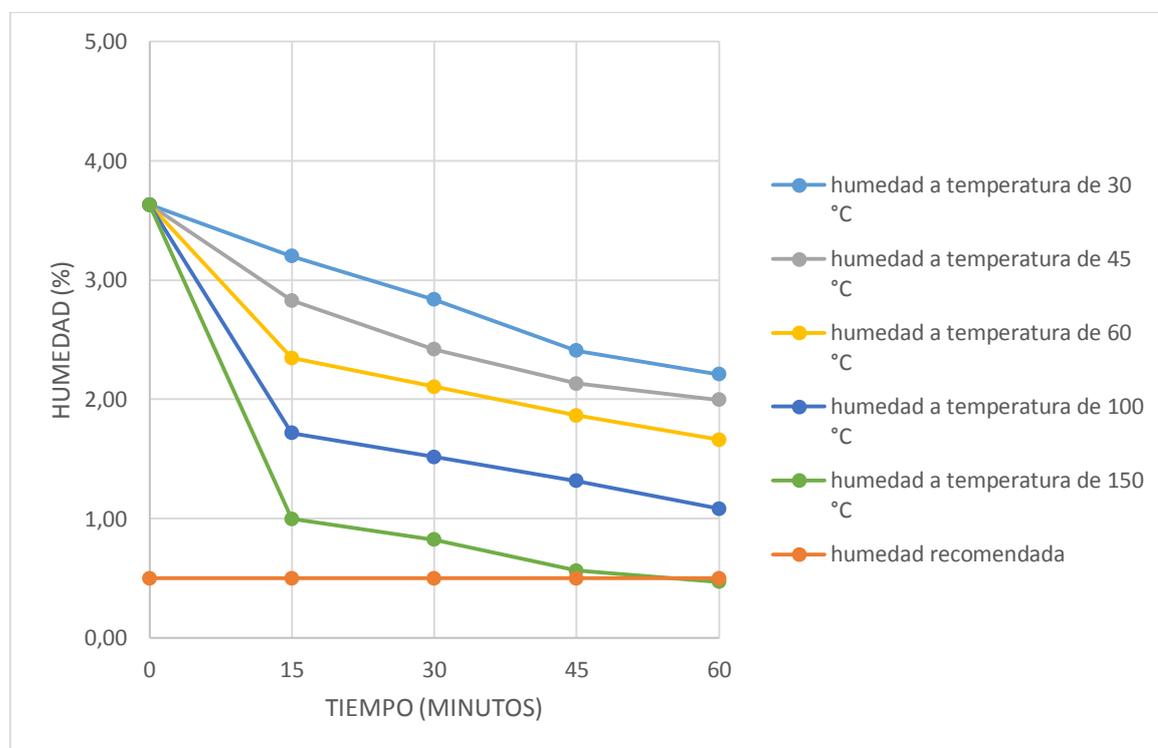


Figura N° 18. Tiempo vs Humedad de electrodos 6013resecados a varias temperaturas

En el gráfico de la Figura 18 se observa que conforme aumenta la temperatura y el tiempo de resecado de los electrodos 6013, el porcentaje de contenido de humedad relativa disminuye y se acerca al nivel recomendado.

Con este tipo de electrodo revestido a una temperatura de 150 °C en el transcurso de 45 minutos el % de humedad se acerca al valor recomendado por la normativa que es de 0.50 % obteniéndose un valor de 0.56 %.

Adicionalmente, a la temperatura de 150 °C, al minuto 60 se obtuvo un valor de 0.47 %, que llega inferior al recomendado, con lo que se estaría demostrando que la temperatura óptima para recuperar a los límites de humedad que recomienda la normativa se estaría obteniendo a la temperatura de 150 °C y a un intervalo de tiempo de 60 minutos.

#### **4.3. PRUEBA DE REDUCCION DE HUMEDAD DEL ELECTRODO CELULOSICO E6011 SUMERGIDO EN AGUA**

Se procedió de manera similar que en el anterior caso humedeciendo los revestimientos de los electrodos durante un tiempo de 5 minutos a fin de simular la situación de humedad más extrema que pueden sufrir este tipo de electrodos, para posteriormente dejarlos al ambiente hasta que dejen de gotear, para luego pesarlos con lo que se obtuvieron los resultados siguientes.

Para realizar esta prueba se ha utilizado una muestra de 2 Kg de electrodos 6011 del fabricante Indura, además se conoce que un electrodo 6011 de diámetro 3.2mm (nuevo recién sacado del empaque) pesa: 26.31 g. y que en 2 Kg. de electrodos 6013 Indura hay 76 unidades. (Ver tabla anexa 01).

Se sumergió completamente en agua durante 5 minutos los 76 electrodos 6013, con el fin de simular la situación de humedad más extrema.

Luego se sacó del agua y se dejó escurrir el electrodo unos minutos más e inmediatamente se realizó el pesaje de cada electrodo, obteniéndose un valor promedio de 27.20 g. por cada electrodo.

Posteriormente por diferencias de pesos, se determina el porcentaje de humedad inicial, mediante la aplicación de la ecuación 1.

$$\% \text{ Hbs} = \frac{mh - ms}{ms} \times 100 \quad \text{ec. 01}$$

Para el tiempo de 0 minutos a 30°C

$$\text{Hbs} = \frac{27.20 - 26.31}{26.31} \times 100\% = 3.38\%$$

Para el tiempo de 10 minutos a 30°C

$$\text{Hbs} = \frac{27.10 - 26.31}{26.31} \times 100\% = 3.00\%$$

Para este ensayo de recuperación del revestimiento del electrodo se colocó los electrodos en el horno y se programó al mismo para que las muestras sean extraídas a las temperaturas de 30,40,60,80 y 100 °C durante un tiempo de 1 hora, siendo pesadas a los 10',20', 40' y 60' minutos, es decir, el ensayo duró a la temperatura indicada de 1 hora. Se utilizó el mismo procedimiento anteriormente mencionado, elevando las temperaturas de secado, con lo que se obtuvieron las muestras a los 30 °C, 40 °C, 60 °C, 80 °C y 100 °C, a los tiempos anteriormente mencionados.

Como se cuenta el tamaño de muestra con 76 electodos la muestra se dividió en cinco grupos tomando un valor de 15 datos.

#### 4.3.1. Prueba de reducción de humedad a 30 °C

**Tabla N° 25.** Pesaje de electodos 6011 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo

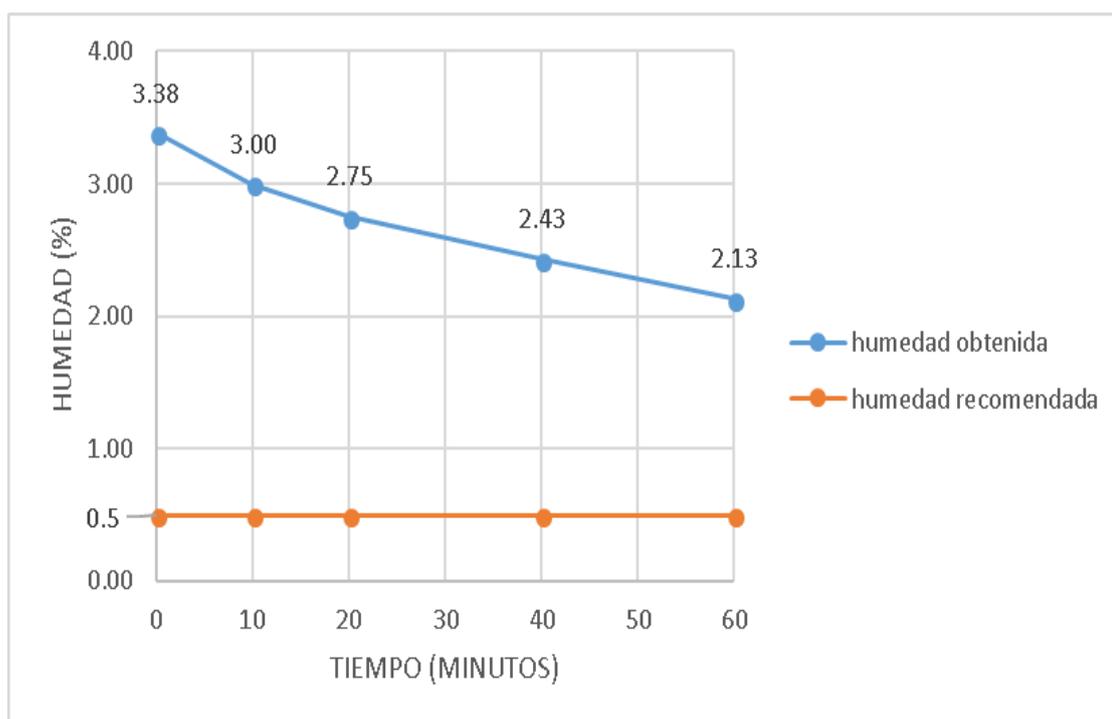
muestra	peso en gramos a la temperatura de 30 °C			
	10 min	20 min	40 min	60 min
1	27.09	27.03	26.95	26.87
2	27.08	27.04	26.95	26.88
3	27.09	27.05	26.94	26.86
4	27.1	27.04	26.97	26.87
5	27.1	27.02	26.96	26.87
6	27.11	27.05	26.94	26.89
7	27.09	27.03	26.95	26.85
8	27.11	27.05	26.97	26.88
9	27.1	27.03	26.94	26.86
10	27.08	27.02	26.93	26.89
11	27.08	27.03	26.95	26.89
12	27.12	27.04	26.93	26.85
13	27.12	27.05	26.96	26.87
14	27.11	27.02	26.96	26.88
15	27.1	27.02	26.93	26.85
<b>promedio</b>	<b>27.10</b>	<b>27.03</b>	<b>26.95</b>	<b>26.87</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 26.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	3.38	27.20
10	3.00	27.10
20	2.75	27.03
40	2.43	26.95
60	2.13	26.87

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 19.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 30°C

## 4.3.2. Prueba de reducción de humedad a 40 °C

**Tabla N° 27.** Pesaje de electrodos 6011 resecados a 40°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 40 °C			
	10 min	20 min	40 min	60 min
1	27.03	26.91	26.81	26.75
2	27.03	26.91	26.82	26.75
3	27.04	26.92	26.81	26.74
4	27.02	26.91	26.83	26.73
5	27.01	26.9	26.83	26.73
6	27.04	26.90	26.8	26.72
7	27.01	26.92	26.80	26.73
8	27	26.9	26.82	26.75
9	27.03	26.89	26.83	26.76
10	27.02	26.89	26.84	26.76
11	27.02	26.88	26.84	26.75
12	27.04	26.89	26.83	26.73
13	27.01	26.88	26.83	26.74
14	27.04	26.9	26.82	26.73
15	27.02	26.91	26.81	26.74
<b>promedio</b>	<b>27.02</b>	<b>26.90</b>	<b>26.82</b>	<b>26.74</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 28.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 40°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	3.38	27.20
10	2.71	27.02
20	2.25	26.90
40	1.94	26.82
60	1.64	26.74

Fuente: Elaboración propia.

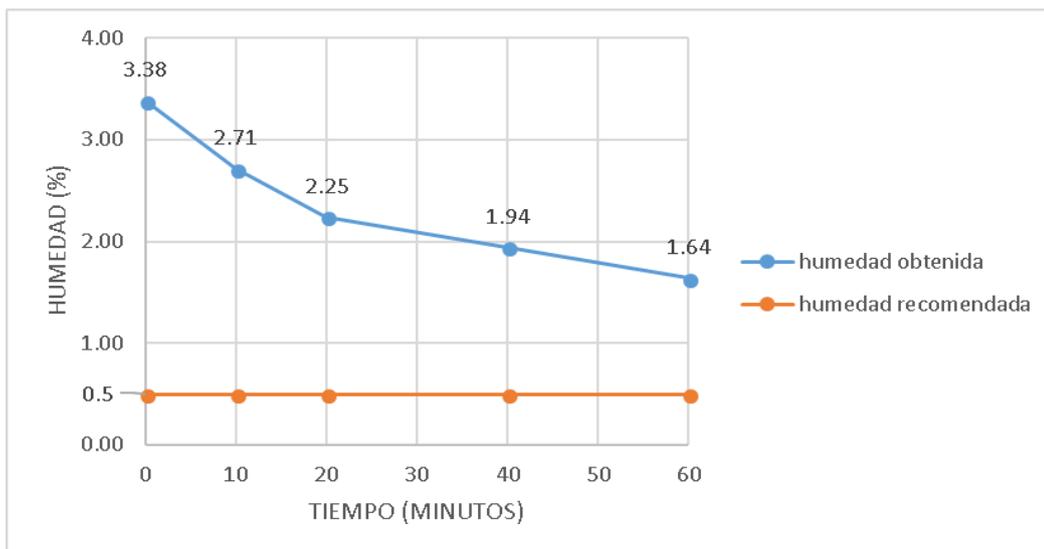


Figura N° 20. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 40°C

### 4.3.3. Prueba de reducción de humedad a 60 °C

Tabla N° 29. Pesaje de electrodos 6011 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo

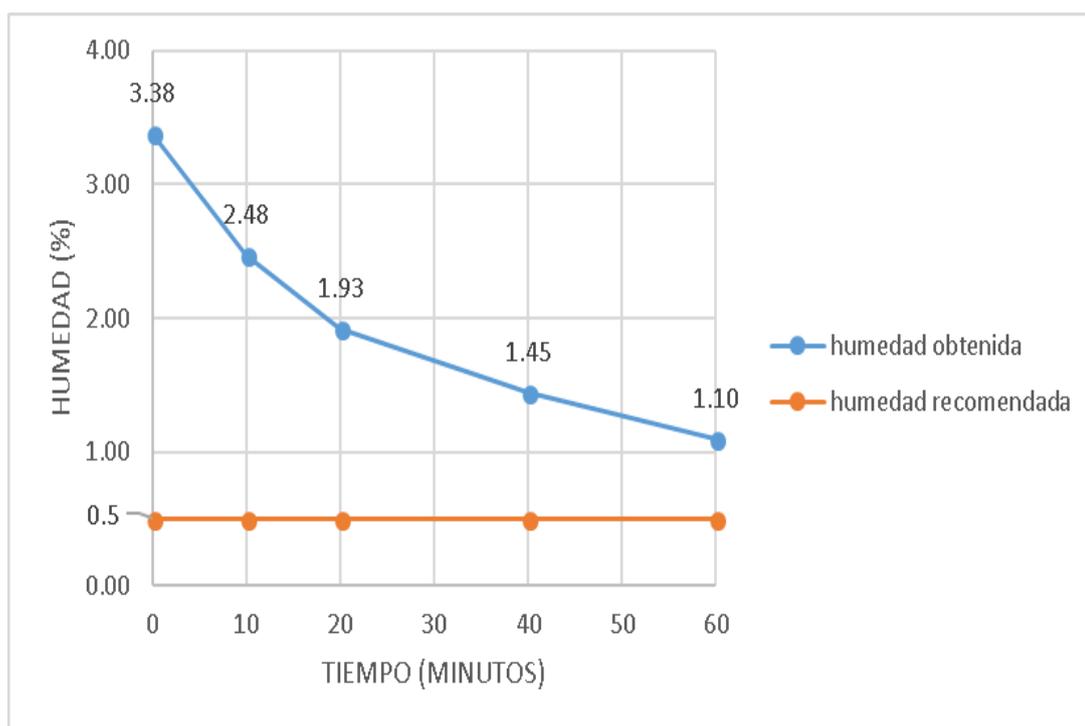
Muestra	peso en gramos a la temperatura de 60 °C			
	10 min	20 min	40 min	60 min
1	26.97	26.83	26.69	26.61
2	26.98	26.83	26.69	26.62
3	26.97	26.82	26.7	26.62
4	26.96	26.82	26.71	26.61
5	26.96	26.82	26.7	26.6
6	26.95	26.81	26.68	26.6
7	26.94	26.8	26.68	26.59
8	26.94	26.81	26.67	26.58
9	26.95	26.8	26.68	26.58
10	26.95	26.80	26.7	26.59
11	26.96	26.81	26.69	26.6
12	26.97	26.82	26.71	26.61
13	26.98	26.82	26.71	26.61
14	26.98	26.83	26.68	26.59
15	26.96	26.83	26.67	26.58
<b>promedio</b>	<b>26.96</b>	<b>26.82</b>	<b>26.69</b>	<b>26.60</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 30.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	3.38	27.20
10	2.48	26.96
20	1.93	26.82
40	1.45	26.69
60	1.10	26.60

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 21.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 60°C

## 4.3.4. Prueba de reducción de humedad a 80 °C

**Tabla N° 31.** Pesaje de electrodos 6011 resecados a 80°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 80 °C			
	10 min	20 min	40 min	60 min
1	26.77	26.68	26.59	26.52
2	26.76	26.66	26.6	26.51
3	26.76	26.68	26.58	26.51
4	26.75	26.67	26.58	26.52
5	26.75	26.65	26.57	26.5
6	26.75	26.65	26.59	26.49
7	26.74	26.64	26.57	26.49
8	26.74	26.64	26.6	26.53
9	26.76	26.67	26.61	26.51
10	26.77	26.67	26.6	26.52
11	26.77	26.65	26.59	26.5
12	26.78	26.66	26.59	26.49
13	26.76	26.65	26.61	26.52
14	26.78	26.67	26.58	26.53
15	26.76	26.66	26.57	26.5
<b>promedio</b>	<b>26.76</b>	<b>26.66</b>	<b>26.59</b>	<b>26.51</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 32.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 80°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	3.38	27.20
10	1.71	26.76
20	1.33	26.66
40	1.06	26.59
60	0.76	26.51

Fuente: Elaboración propia.

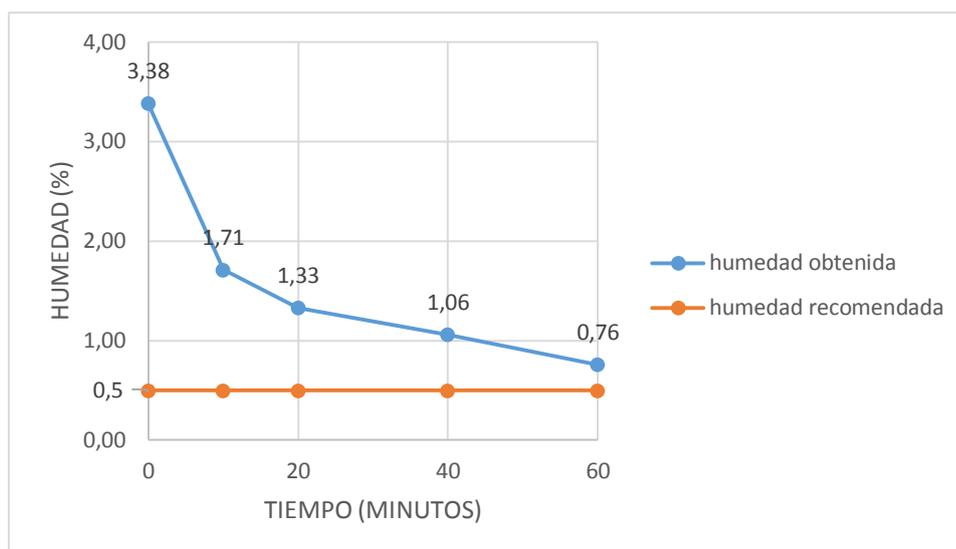


Figura N° 22. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 80°C

#### 4.3.5. Prueba de reducción de humedad a 100 °C

Tabla N° 33. Pesaje de electrodos 6011 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

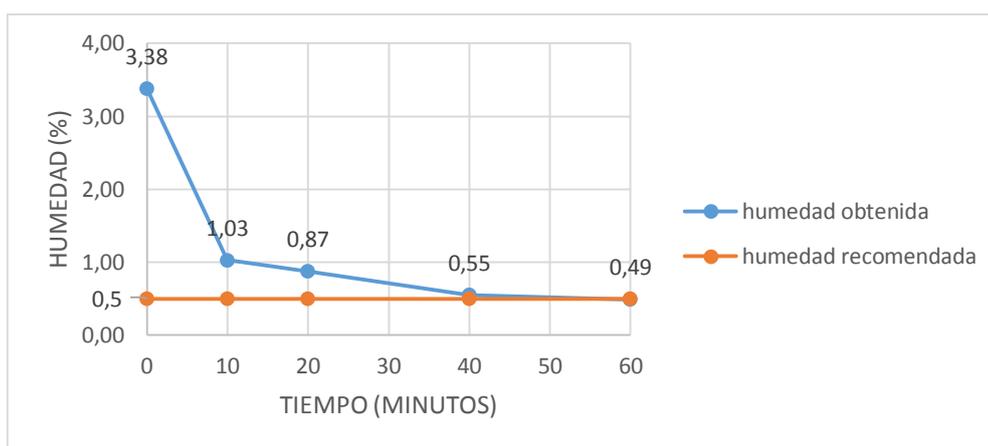
muestra	peso en gramos a la temperatura de 100 °C			
	10 min	20 min	40 min	60 min
1	26.6	26.53	26.46	26.44
2	26.59	26.54	26.46	26.45
3	26.58	26.54	26.46	26.43
4	26.59	26.53	26.45	26.46
5	26.59	26.55	26.46	26.45
6	26.58	26.56	26.46	26.43
7	26.57	26.56	26.46	26.46
8	26.57	26.55	26.45	26.42
9	26.56	26.54	26.44	26.44
10	26.57	26.53	26.46	26.44
11	26.57	26.53	26.45	26.46
12	26.57	26.52	26.44	26.42
13	26.59	26.52	26.45	26.42
14	26.59	26.54	26.46	26.44
15	26.58	26.56	26.46	26.43
<b>promedio</b>	<b>26.58</b>	<b>26.54</b>	<b>26.45</b>	<b>26.44</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 34.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

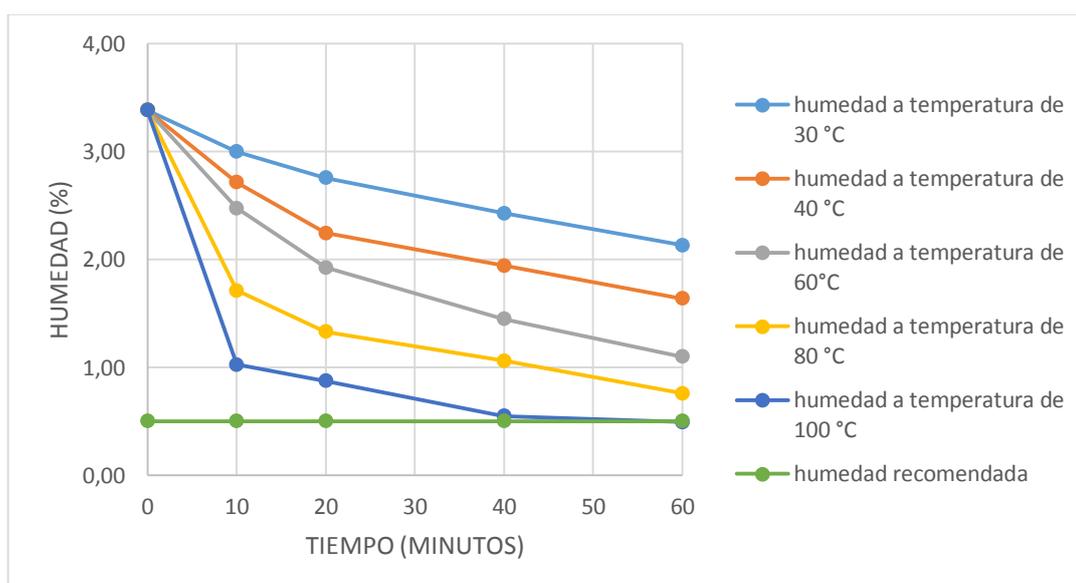
Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	3.38	27.20
10	1.03	26.58
20	0.87	26.54
40	0.55	26.45
60	0.49	26.44

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 23.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 100°C

#### 4.3.6. Análisis de resultados del electrodo Celulosico E6011 sumergido en agua



**Figura N° 24.** Tiempo vs Humedad de electrodos 6011 resecados a varias temperaturas

En el gráfico de la Figura 24 se observa que conforme aumenta la temperatura y el tiempo de resecado de los electrodos 6011, el porcentaje de contenido de humedad relativa disminuye y se acerca al nivel recomendado de manera tal que se puedan devolver las características operativas a electrodos que han absorbido humedad más allá de los límites

De los resultados obtenidos se puede evidenciar que, a la temperatura de 100 °C, a los 40 minutos de transcurrida la prueba con permanencia de los electrodos en la cámara de secado, se logra llegar a un valor de 0.55 % de humedad, que se acerca bastante al recomendado por la norma, sin embargo, involucra el realizar un nuevo ensayo a 100 °C a fin de determinar los rangos de datos.

En tanto que, a la temperatura de 100 °C, al minuto 60, se tiene un descenso considerable de humedad al ideal de 0.49 % recomendado como valor máximo dado por la norma.

#### **4.4. PRUEBA DE REDUCCION DE HUMEDAD DEL ELECTRODO DE BAJO HIDROGENO E7018 DEJADO A LA INTEMPERIE DURANTE 14 DIAS**

Para este tipo de ensayo se sometió a 2 Kilogramos de E7018 a la intemperie durante un periodo de 14 días, ensayo realizado en la empresa “Arte Industrial E.I.R.Ltda. en el taller ambiente que suele estar almacenado (Bodega), esto con el fin de determinar la cantidad de humedad absorbida por su revestimiento durante el tiempo mencionado. Con los que se obtuvieron los siguientes pesajes que se muestran tabulados a continuación.

Para realizar esta prueba se ha utilizado una muestra de 2 Kg de electrodos 7018 del fabricante Indura, además se conoce que un electrodo

7018 de diámetro 3.2mm (nuevo recién sacado del empaque) pesa: 34.48 g. y que en 2 Kg. de electrodos 7018 Indura hay 58 unidades. (Ver tabla anexa 01).

De las muestras obtenidas se sacó el siguiente valor promedio de 36.50 g., por peso del electrodo dejado a la intemperie, de los cuales al realizar la relación que la normativa indica en el Anexo 1, haciendo referencia se somete a pesar 29 electrodos 7018 para determinar el exceso de peso en relación al peso ideal que indica el proveedor, obteniéndose un valor de 105.40 gramos; con lo que se tiene un exceso de 57.40 gramos; al hacer relación con el valor ideal tenemos un excedente de 1.66 electrodos, que se ve reflejado en humedad retenida en este caso.

Para el ensayo de reacondicionamiento del revestimiento del electrodo se colocaron las probetas en el horno y se programó al mismo para que las muestras sean extraídas a una temperatura de 50 °C durante un tiempo de 120 minutos, considerando que fueron pesadas a los 30, 60', 90', 100' y 120' minutos, es decir el ensayo duró a la temperatura indicada dos horas.

Cabe recalcar que el mismo procedimiento utilizado para el secado de los electrodos sometidos intencionalmente al agua, se lo realizó elevando las temperaturas de secado, con lo que se realizaron a los 50 °C, 100 °C, 200 °C, 300 °C y 350 °C, a los tiempos anteriormente mencionados. Posteriormente por diferencias de pesos, se determina el porcentaje de humedad inicial, mediante la aplicación de la ecuación 1.

$$\% \text{ Hbs} = \frac{mh - ms}{ms} \times 100 \quad \text{ec. 01}$$

Para el tiempo de 0 minutos a 50°C

$$Hbs = \frac{36.50 - 34.48}{34.48} \times 100\% = 5.86\%$$

Considerando que en 2 Kg. de electrodos 7018 Indura hay 58 unidades entre cinco valores la muestra se considera como 11. (Ver tabla anexa 01).

#### 4.4.1. Prueba de reducción de humedad a 50 °C

**Tabla N° 35.** Pesaje de electrodos 7018 resecados a 50°C en distintos intervalos de tiempo

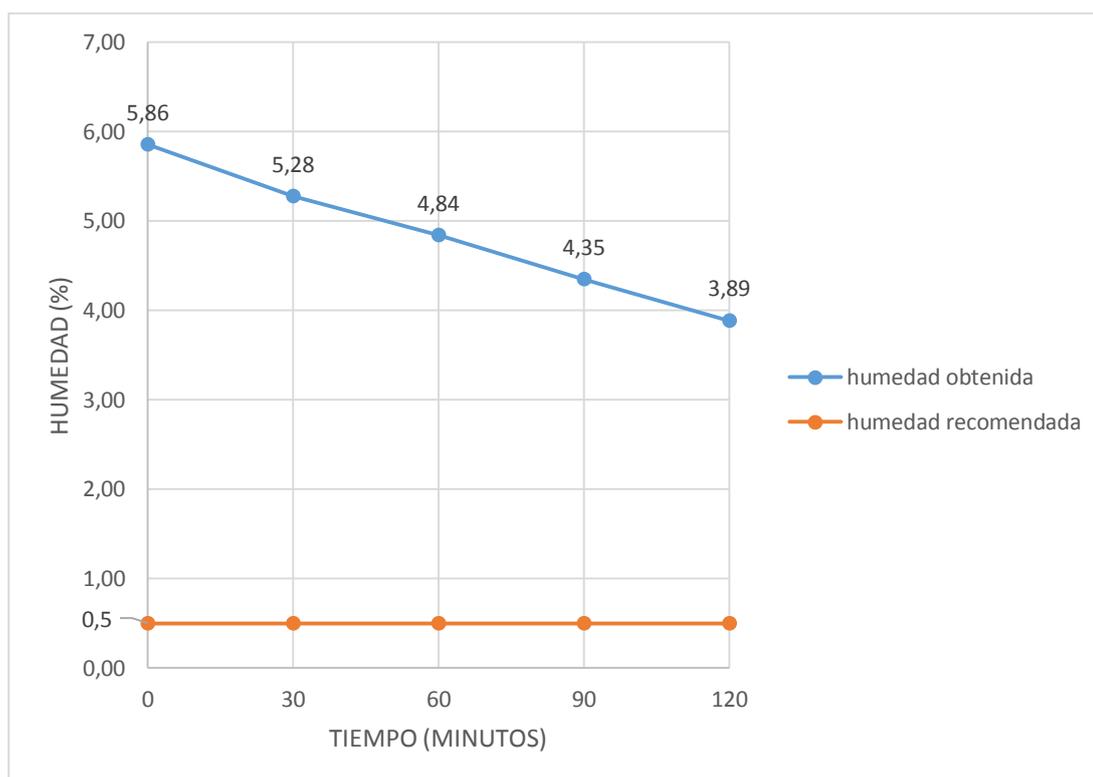
muestra	peso en gramos a la temperatura de 50 °C			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1	36.29	36.16	35.99	35.82
2	36.28	36.15	36	35.8
3	36.29	36.15	35.97	35.81
4	36.3	36.14	35.99	35.84
5	36.3	36.13	35.98	35.82
6	36.31	36.15	35.98	35.82
7	36.29	36.16	35.96	35.83
8	36.32	36.17	35.96	35.81
9	36.32	36.13	35.97	35.8
10	36.29	36.14	35.98	35.84
11	36.31	36.17	36	35.83
<b>promedio</b>	<b>36.30</b>	<b>36.15</b>	<b>35.98</b>	<b>35.82</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 36.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 50°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	5.86	36.50
30	5.28	36.30
60	4.84	36.15
90	4.35	35.98
120	3.89	35.82

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 25.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 50°C

## 4.4.2. Prueba de reducción de humedad a 100 °C

**Tabla N° 37.** Pesaje de electrodos 7018 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 100 °C			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1	36.02	35.85	35.7	35.54
2	36.01	35.87	35.69	35.55
3	36.02	35.87	35.71	35.57
4	35.99	35.89	35.69	35.57
5	35.99	35.88	35.7	35.58
6	36.01	35.87	35.71	35.56
7	36.03	35.85	35.73	35.58
8	36	35.86	35.72	35.56
9	36.01	35.89	35.71	35.55
10	36.03	35.88	35.72	35.55
11	36	35.86	35.73	35.56
<b>promedio</b>	<b>36.01</b>	<b>35.87</b>	<b>35.71</b>	<b>35.56</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 38.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	5.86	36.50
30	4.44	36.01
60	4.03	35.87
90	3.57	35.71
120	3.13	35.56

Fuente: Elaboración propia.

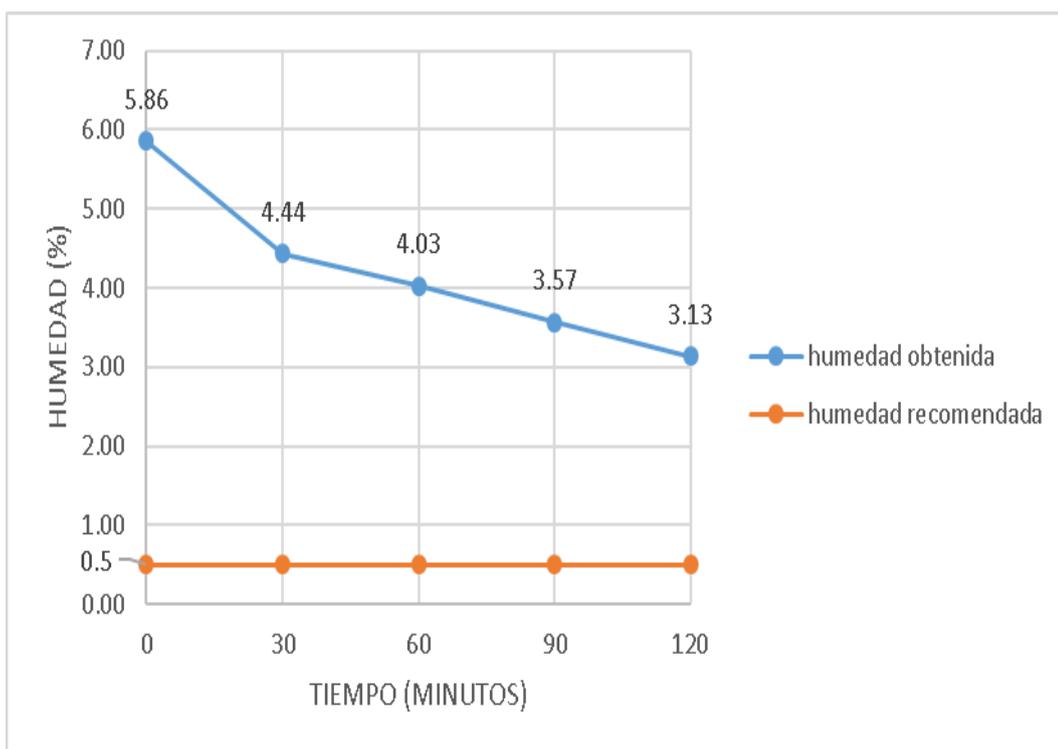


Figura N° 26. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 50°C

#### 4.4.3. Prueba de reducción de humedad a 200 °C

Tabla N° 39. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 200°C en distintos intervalos de tiempo

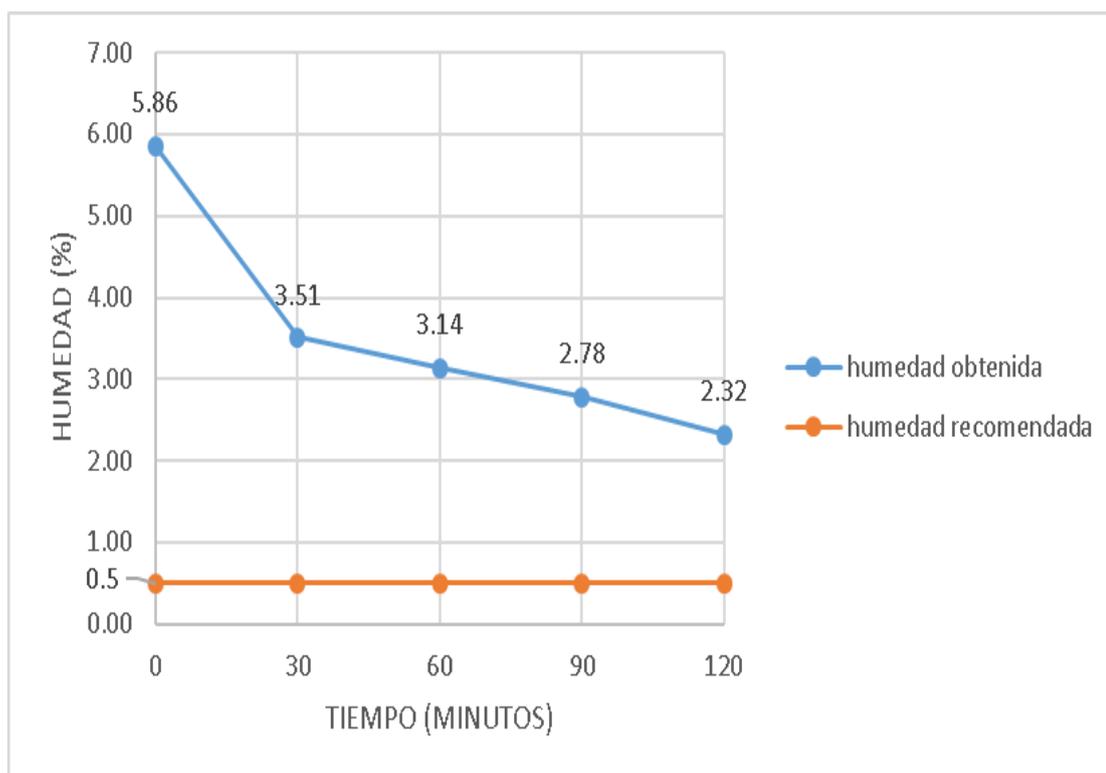
muestra	peso en gramos a la temperatura de 200 °C			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1	35.7	35.57	35.42	35.26
2	35.69	35.56	35.44	35.28
3	35.67	35.57	35.44	35.29
4	35.67	35.55	35.42	35.3
5	35.68	35.58	35.43	35.3
6	35.7	35.56	35.44	35.29
7	35.69	35.56	35.43	35.26
8	35.71	35.57	35.45	35.28
9	35.69	35.58	35.46	35.27
10	35.71	35.54	35.46	35.28
11	35.68	35.54	35.45	35.27
<b>promedio</b>	<b>35.69</b>	<b>35.56</b>	<b>35.44</b>	<b>35.28</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 40.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 200°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	5.86	36.50
30	3.51	35.69
60	3.14	35.56
90	2.78	35.44
120	2.32	35.28

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 27.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 50°C

## 4.4.4. Prueba de reducción de humedad a 300 °C

**Tabla N° 41.** Pesaje de electrodos 7018 resecados a 300°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 300 °C			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1	35.4	35.19	35.06	34.91
2	35.38	35.21	35.03	34.93
3	35.39	35.2	35.04	34.91
4	35.4	35.21	35.07	34.92
5	35.37	35.22	35.06	34.93
6	35.36	35.19	35.05	34.91
7	35.38	35.22	35.05	34.92
8	35.38	35.18	35.04	34.9
9	35.36	35.18	35.03	34.9
10	35.4	35.2	35.05	34.92
11	35.39	35.19	35.07	34.91
<b>promedio</b>	<b>35.38</b>	<b>35.20</b>	<b>35.05</b>	<b>34.91</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 42.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 300°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	5.86	36.50
30	2.62	35.38
60	2.09	35.20
90	1.65	35.05
120	1.26	34.91

Fuente: Elaboración propia.

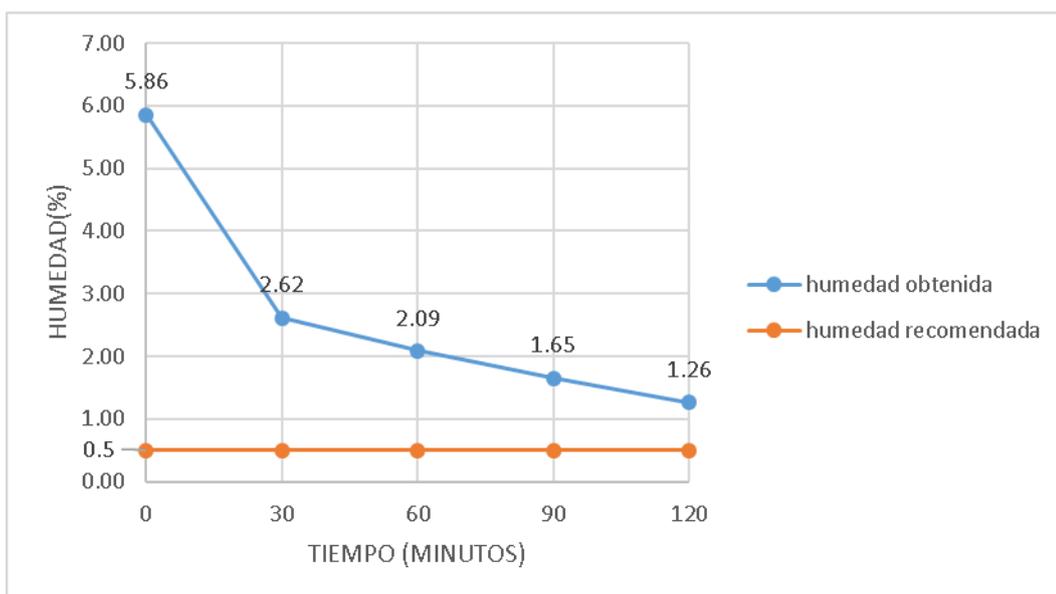


Figura N° 28. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 300°C

#### 4.4.5. Prueba de reducción de humedad a 350 °C

Tabla N° 43. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 350°C en distintos intervalos de tiempo

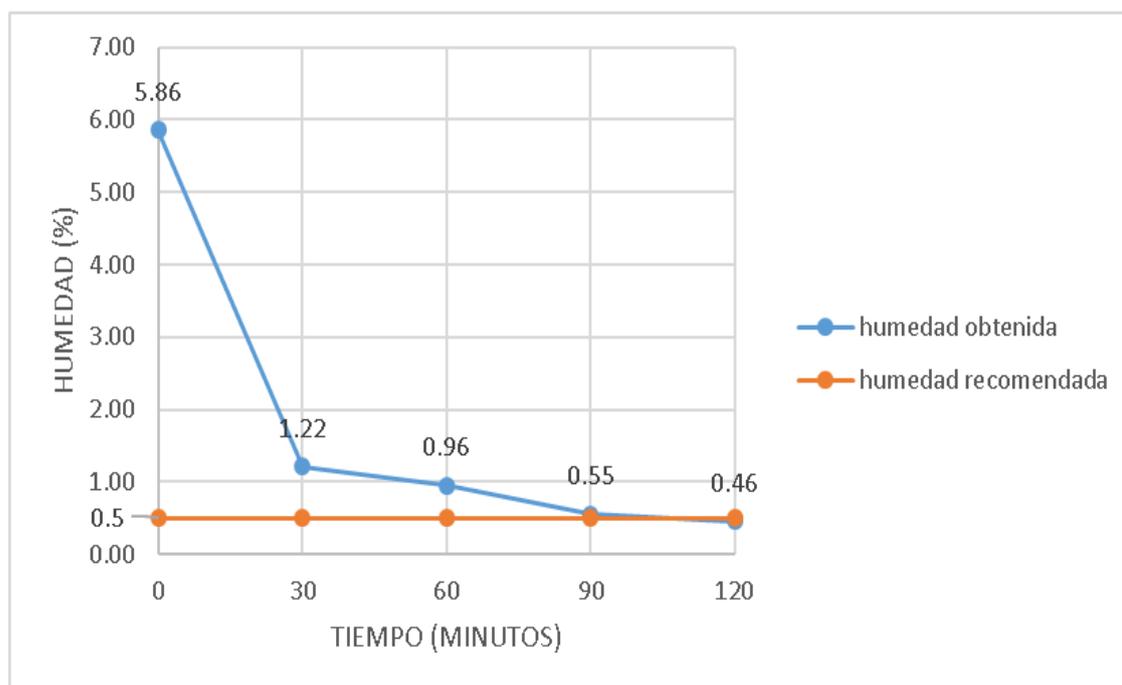
muestra	peso en gramos a la temperatura de 350 °C			
	30 min	60 min	90 min	120 min
1	34.9	34.81	34.65	34.65
2	34.91	34.83	34.67	34.65
3	34.91	34.82	34.66	34.64
4	34.92	34.81	34.67	34.62
5	34.9	34.82	34.69	34.63
6	34.89	34.79	34.69	34.64
7	34.88	34.8	34.68	34.64
8	34.9	34.79	34.68	34.65
9	34.92	34.8	34.65	34.63
10	34.89	34.83	34.67	34.65
11	34.88	34.81	34.66	34.63
<b>promedio</b>	<b>34.90</b>	<b>34.81</b>	<b>34.67</b>	<b>34.64</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 44.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 350°C en distintos intervalos de tiempo

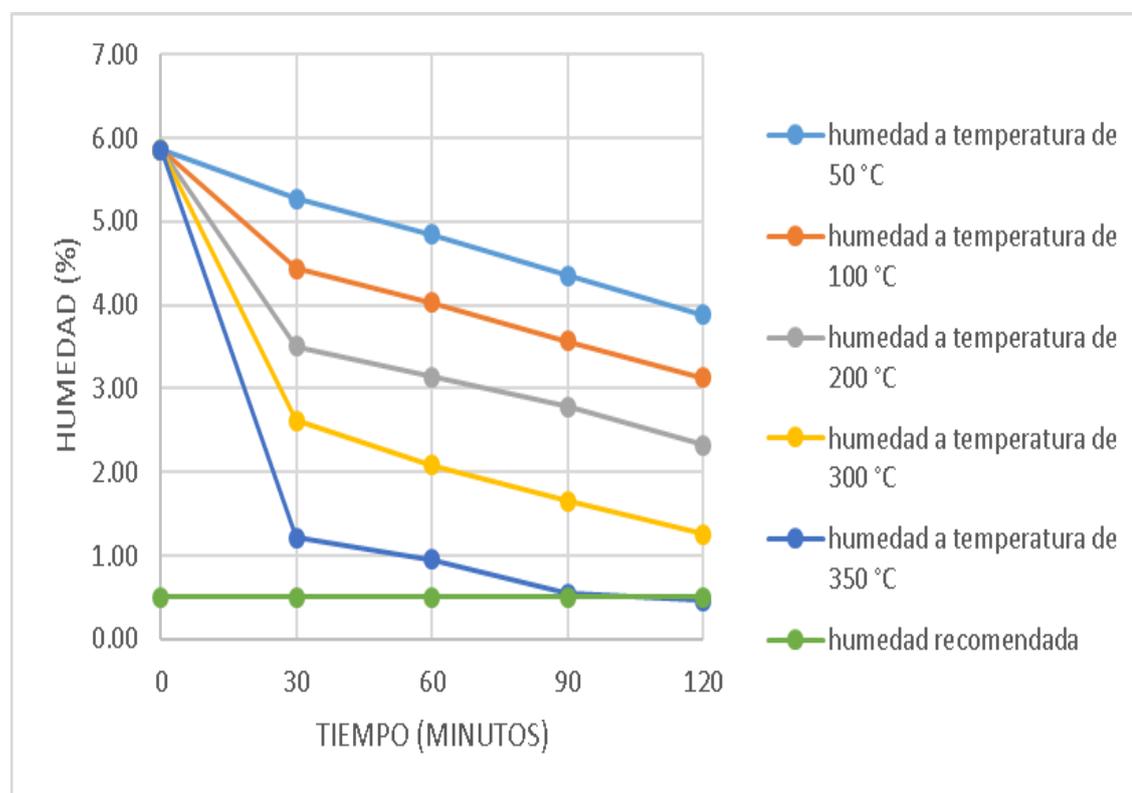
Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	5.86	36.50
30	1.22	34.90
60	0.96	34.81
90	0.55	34.67
120	0.46	34.64

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 29.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 350°C

#### 4.4.6. Análisis de resultados del electrodo de bajo hidrogeno E7018 dejado a la intemperie durante 14 días



**Figura N° 30.** Tiempo vs Humedad de electrodos 7018 resecados a varias temperaturas

En el gráfico de la Figura 30 se observa que conforme aumenta la temperatura y el tiempo de secado de los electrodos 7018, el porcentaje de contenido de humedad relativa disminuye y se acerca al nivel recomendado de manera tal que se puedan devolver las características operativas a electrodos que han absorbido humedad más allá de los límites.

De los datos obtenidos se puede observar que, en el intervalo de 90 minutos a una temperatura de 350 °C, el valor del contenido de humedad relativa es de 0.55%, valor que se encuentra muy cercano como permisible por la norma; conforme sigue transcurriendo el tiempo al minuto 120, se logra

bajar de manera considerable la humedad hasta el valor de 0.46 %, valor considerado como óptimo para soldar con este tipo de electrodo revestido y que está dentro del recomendado por la norma.

#### **4.5. PRUEBA DE REDUCCIÓN DE HUMEDAD DEL ELECTRODO RUTILICO E 6013 DEJADO A LA INTEMPERIE DURANTE 14 DIAS**

Para realizar el ensayo con este tipo de electrodo se procedió de manera similar como con los anteriores ensayos, pesando inicialmente el electrodo que permaneció en el ambiente durante un periodo de 14 días, para posteriormente proceder a programar al equipo de secado a una temperatura de 150° C durante 1 hora, con lo que se obtuvieron los siguientes resultados:

Se obtuvo un promedio general de E6013 de 31.20 gramos por electrodo luego de haber sido dejados a la intemperie durante un periodo de 14 días asimilando condiciones de la fábrica, de los cuales al realizar la relación que indica la tabla del Anexo 1, haciendo referencia se somete a pesar 33 electrodos 6013 para determinar el exceso de peso en relación al peso ideal que indica el proveedor, obteniéndose un valor de 1020.80 gramos; reflejándose un exceso de 20.8 gramos a lo que haciendo relación con el valor ideal tenemos un excedente de 1.15 electrodos, que es el valor que se refleja en humedad retenida en este caso.

Así mismo cada electrodo seco pesa 30.30 gramos y en 2 kg. de electrodo de 3.20 mm se tiene 66 unidades entre 5 valores se tiene igual 13 muestras.

Posteriormente por diferencias de pesos, se determina el porcentaje de humedad inicial, mediante la aplicación de la ecuación 1.

$$\% H_{bs} = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{ec. 01}$$

$\%H_{bs}$  : Humedad de cada electrodo (%)

$M_h$  : masa del electrodo húmedo (g)

$M_s$  : masa del electrodo seco (g)

Cabe recalcar que para este ensayo de recuperación del revestimiento del electrodo se colocaron las probetas en el horno y se programó al mismo para que las muestras sean extraídas a una temperatura inicial de 30 °C durante un tiempo de 1 hora, considerando que fueron pesadas a los 15', 30', 45'y 60' minutos, es decir el ensayo duró a la temperatura indicada de 1 hora.

Cabe recalcar que el mismo procedimiento anteriormente mencionado se lo realizó elevando las temperaturas de secado, con lo que se realizaron a los 30°C, 45 °C, 60 °C, 100 °C y 150 °C y a los tiempos anteriormente mencionados.

Para el tiempo de 15 minutos a 30°C

$$H_{bs} = \frac{30.94 - 30.30}{30.30} \times 100\% = 2.11\%$$

## 4.5.1. Prueba de reducción de humedad a 30 °C

**Tabla N° 45.** Pesaje de electrodos 6013 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 30 °C			
	15 min	30 min	45 min	60 min
1	30.96	30.9	30.87	30.86
2	30.95	30.91	30.89	30.87
3	30.93	30.91	30.9	30.87
4	30.94	30.92	30.89	30.85
5	30.94	30.93	30.91	30.84
6	30.93	30.93	30.9	30.84
7	30.92	30.94	30.91	30.85
8	30.92	30.9	30.89	30.86
9	30.93	30.91	30.91	30.86
10	30.95	30.96	30.89	30.85
11	30.96	30.94	30.9	30.87
12	30.96	30.92	30.88	30.86
13	30.93	30.9	30.87	30.85
<b>promedio</b>	<b>30.94</b>	<b>30.92</b>	<b>30.89</b>	<b>30.86</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 46.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	2.31	31.00
15	2.11	30.94
30	2.05	30.92
45	1.96	30.89
60	1.84	30.86

Fuente: Elaboración propia.

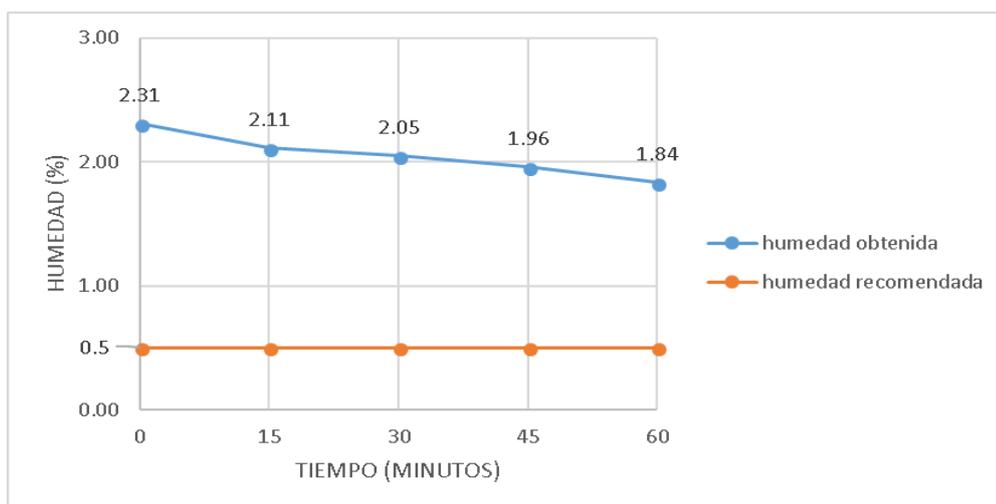


Figura N° 31. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 30°C

#### 4.5.2. Prueba de reducción de humedad a 45 °C

Tabla N° 47. Pesaje de electrodos 6013 resecados a 45°C en distintos intervalos de tiempo

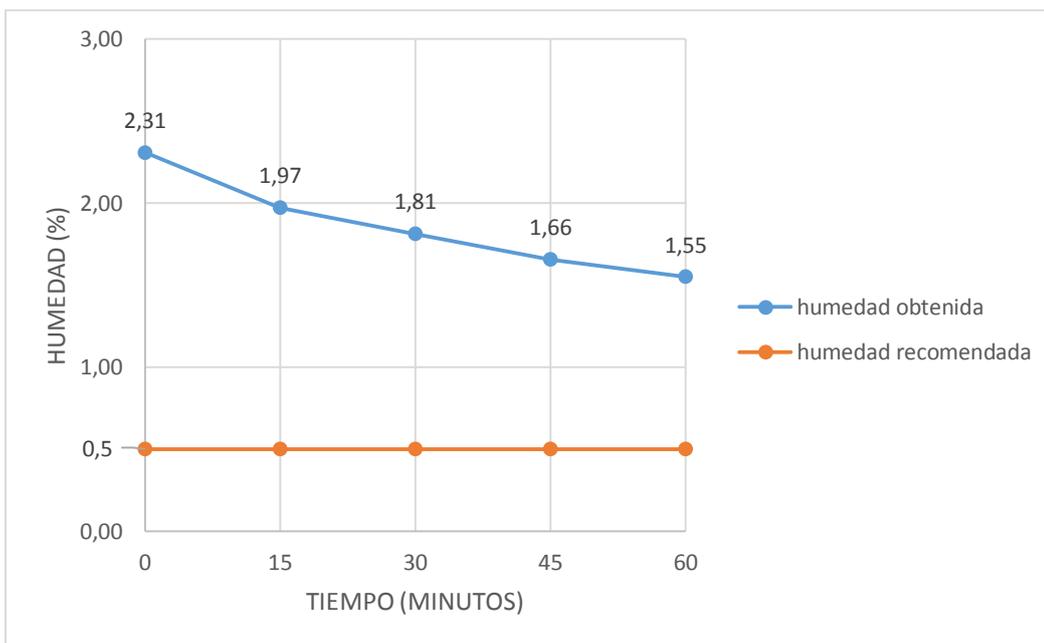
muestra	peso en gramos a la temperatura de 45 °C			
	15 min	30 min	45 min	60 min
1	30.92	30.85	30.80	30.78
2	30.92	30.83	30.80	30.78
3	30.91	30.87	30.81	30.79
4	30.89	30.86	30.78	30.75
5	30.88	30.83	30.78	30.76
6	30.90	30.85	30.81	30.78
7	30.90	30.83	30.79	30.77
8	30.91	30.86	30.81	30.77
9	30.89	30.87	30.82	30.79
10	30.88	30.85	30.80	30.76
11	30.90	30.86	30.82	30.77
12	30.89	30.84	30.79	30.76
13	30.88	30.84	30.82	30.75
<b>promedio</b>	<b>30.90</b>	<b>30.85</b>	<b>30.80</b>	<b>30.77</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 48.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013resecados a 45°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	2.31	31.00
15	1.97	30.90
30	1.81	30.85
45	1.66	30.80
60	1.55	30.77

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 32.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 5013 resecados a 45°C

## 4.5.3. Prueba de reducción de humedad a 60 °C

**Tabla N° 49.** Pesaje de electrodos 6013 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 60 °C			
	15 min	30 min	45 min	60 min
1	30.82	30.76	30.70	30.65
2	30.81	30.74	30.68	30.67
3	30.81	30.76	30.68	30.67
4	30.84	30.74	30.69	30.66
5	30.8	30.74	30.70	30.63
6	30.82	30.77	30.70	30.63
7	30.8	30.77	30.69	30.64
8	30.83	30.76	30.72	30.66
9	30.84	30.78	30.70	30.66
10	30.82	30.77	30.71	30.65
11	30.83	30.78	30.68	30.67
12	30.84	30.75	30.72	30.64
13	30.8	30.75	30.71	30.65
<b>promedio</b>	<b>30.82</b>	<b>30.76</b>	<b>30.70</b>	<b>30.65</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 50.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	2.31	31.00
15	1.72	30.82
30	1.52	30.76
45	1.32	30.70
60	1.16	30.65

Fuente: Elaboración propia.

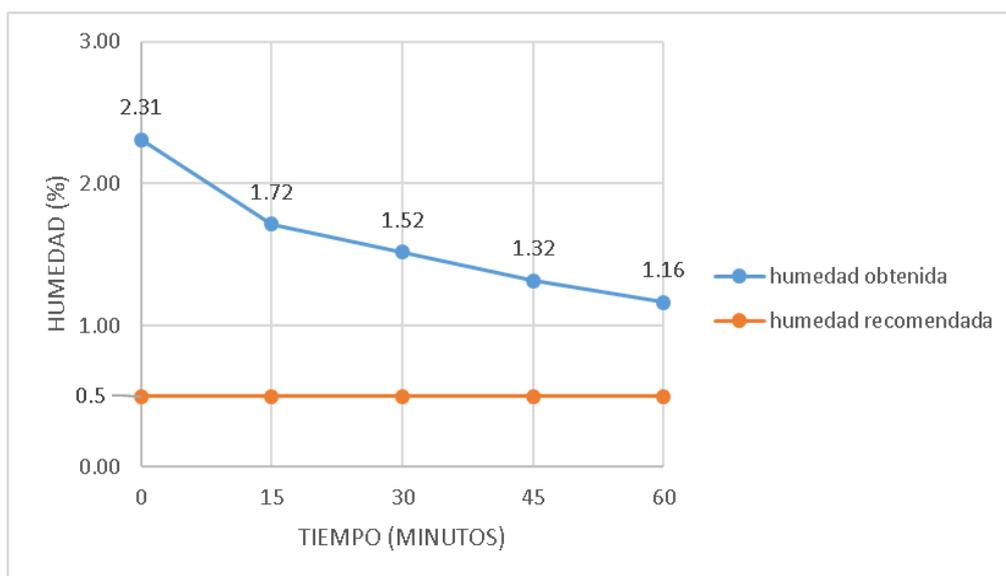


Figura N° 33. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 60°C

#### 4.5.4. Prueba de reducción de humedad a 100 °C

Tabla N° 51. Pesaje de electrodos 6013 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

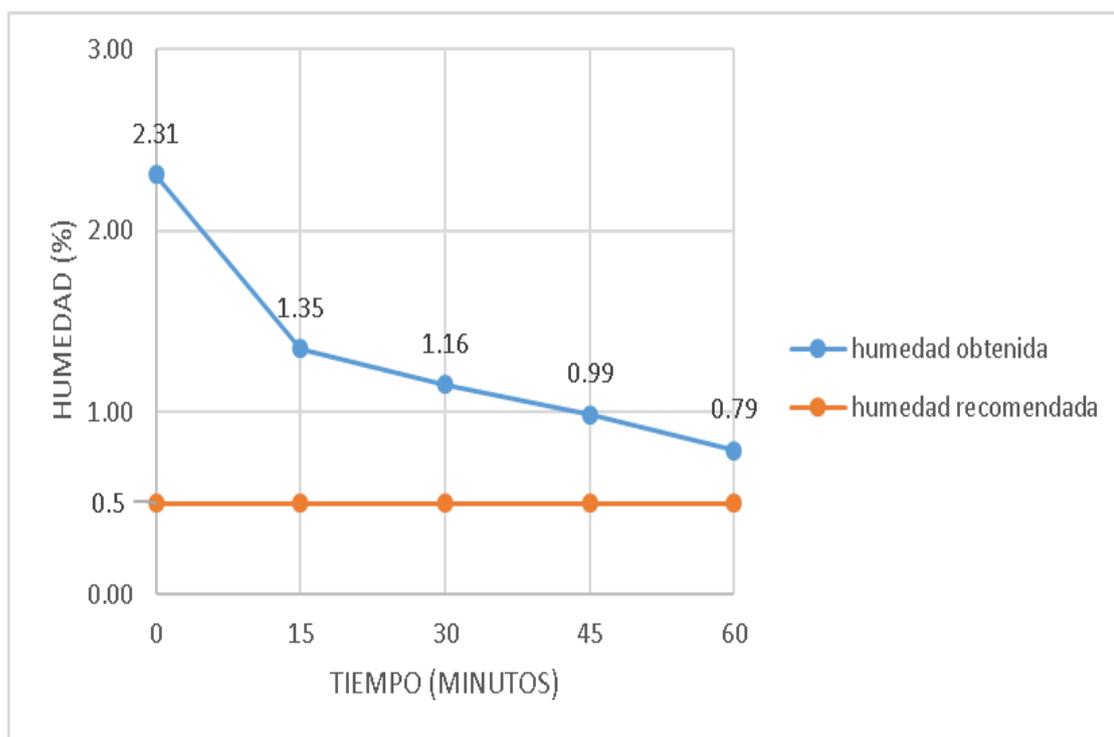
muestra	peso en gramos a la temperatura de 100 °C			
	15 min	30 min	45 min	60 min
1	30.7	30.67	30.6	30.55
2	30.73	30.66	30.59	30.54
3	30.71	30.63	30.59	30.55
4	30.73	30.65	30.6	30.56
5	30.72	30.63	30.61	30.55
6	30.71	30.66	30.59	30.53
7	30.7	30.66	30.61	30.53
8	30.72	30.65	30.62	30.56
9	30.7	30.64	30.62	30.54
10	30.69	30.67	30.61	30.53
11	30.72	30.64	30.58	30.52
12	30.71	30.64	30.6	30.54
13	30.69	30.65	30.58	30.52
<b>promedio</b>	<b>30.71</b>	<b>30.65</b>	<b>30.60</b>	<b>30.54</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 52.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	2.31	31.00
15	1.35	30.71
30	1.16	30.65
45	0.99	30.60
60	0.79	30.54

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 34.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 100°C

## 4.5.5. Prueba de reducción de humedad a 150 °C

**Tabla N° 53.** Pesaje de electrodos 6013 resecados a 150°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 150 °C			
	15 min	30 min	45 min	60 min
1				
2	30.59	30.53	30.48	30.43
3	30.61	30.56	30.45	30.45
4	30.59	30.55	30.46	30.46
5	30.61	30.56	30.47	30.45
6	30.59	30.55	30.48	30.43
7	30.58	30.53	30.45	30.44
8	30.6	30.54	30.46	30.46
9	30.58	30.53	30.46	30.44
10	30.57	30.57	30.48	30.46
11	30.6	30.57	30.45	30.44
12	30.6	30.54	30.48	30.45
13	30.57	30.55	30.46	30.43
<b>promedio</b>	<b>30.59</b>	<b>30.55</b>	<b>30.47</b>	<b>30.45</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 54.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6013 resecados a 150°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	2.31	31.00
15	0.96	30.59
30	0.82	30.55
45	0.54	30.47
60	0.48	30.45

Fuente: Elaboración propia.

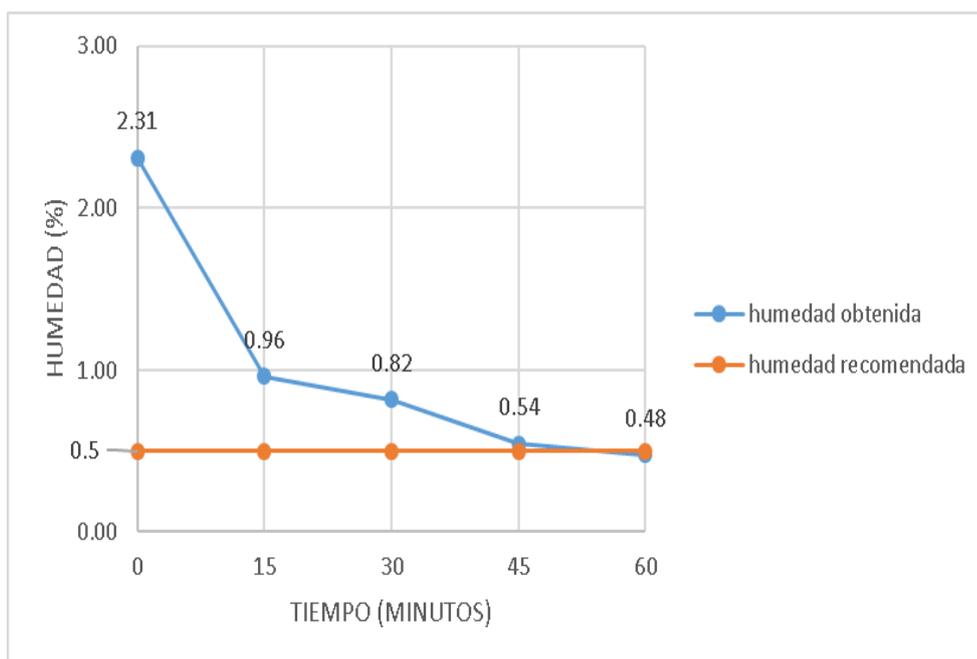


Figura N° 35. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6013 resecados a 150°C

#### 4.5.6. Análisis de resultados del electrodo Rutilico E6013 dejado a la intemperie durante 14 días

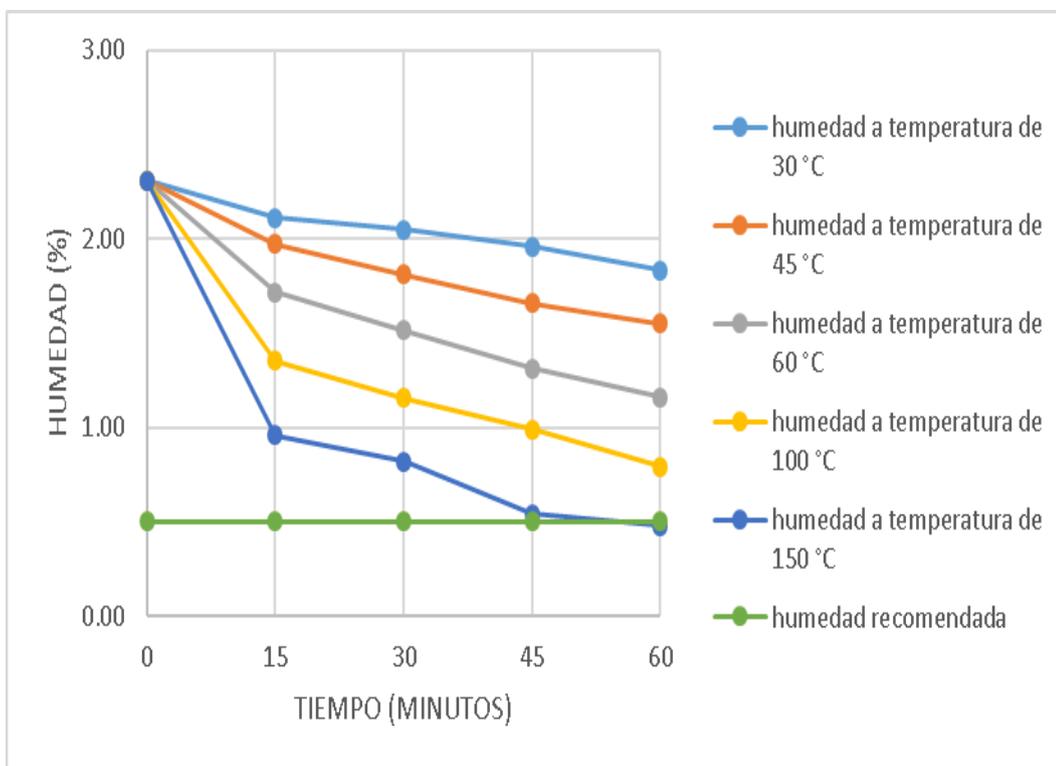


Figura N° 36. Tiempo vs Humedad de electrodos 6013 resecados a varias temperaturas

En el gráfico de la Figura 36 se observa que conforme aumenta la temperatura y el tiempo de resecado de los electrodos 6013, el porcentaje de contenido de humedad relativa disminuye y se acerca al nivel recomendado de manera tal que se puedan devolver las características operativas a electrodos que han absorbido humedad más allá de los límites establecidos por la normativa.

Con este tipo de electrodo revestido a una temperatura de 100 °C en el transcurso de 60 minutos, se llega a un valor de 0.70 %, valor lejano al recomendado por la norma; por lo que hay que seguir incrementando la temperatura y el tiempo.

Sin embargo, a la temperatura de 150 °C, al minuto 45 se obtuvieron valores de 0.54 % que está casi cercano al recomendado por la norma, pero aún hay que seguir bajando la humedad hasta alcanzar niveles permitidos por la norma.

Adicionalmente para demostrar esto se ha interpolado los valores obtenidos al tiempo de 1 hora con la temperatura de 150 °C y que es el valor máximo de secado para este tipo de electrodo en donde se llegó a obtener un valor de humedad de 0.48 %, demostrándose el valor obtenido acorde a los de la norma con tiempo y temperaturas.

#### **4.6. PRUEBA DE REDUCCIÓN DE HUMEDAD DEL ELECTRODO CELULOSICO E 6011 DEJADO A LA INTEMPERIE DURANTE 14 DIAS**

Para realizar el ensayo con este tipo de electrodo se procedió de manera similar como con los anteriores ensayos, pesando inicialmente el

electrodo que permaneció en el ambiente durante un periodo de 14 días, para posteriormente proceder a programar al equipo de secado a una temperatura de 100° C durante 1 hora, con lo que se obtuvieron los resultados indicados en las siguientes tablas.

De los datos recolectados se obtuvo un promedio de 26.85 gramos por peso por electrodo dejado a la intemperie, de tal manera que se procede con el reacondicionamiento de los mismos ubicándolos en el equipo de secado primeramente a la temperatura de 30 °C, posteriormente a una temperatura de 40, 60, 80 y 100 °C; considerando los siguientes tiempos para toma de muestras a los 10', 20', 40' y 60' minutos.

Adicionalmente, al hacer la relación por Kilogramo según recomienda el Anexo 1, se tiene una relación de 38 electrodos 6011 por Kilogramo; al realizar el pesaje respectivo mediante la relación dada se obtuvo un valor de 1020.50 gramos con lo que se dedujo que se tiene un exceso de 20.50 gramos, que se tendría expresado en 0.8 electrodos en exceso de humedad.

Así mismo cada electrodo seco pesa 26.31 gramos y en 2 kg. de electrodo de 3.20 mm se tiene 76 unidades entre 5 valores se tiene igual 15 muestras.

Posteriormente por diferencias de pesos, se determina el porcentaje de humedad inicial, mediante la aplicación de la ecuación 1.

$$\% H_{bs} = \frac{mh - ms}{ms} \times 100 \quad \text{ec. 01}$$

$\%H_{bs}$  : Humedad de cada electrodo (%)

Mh : masa del electrodo húmedo (g)

Ms : masa del electrodo seco (g)

Para el tiempo de 60 minutos a 30°C

$$Hbs = \frac{26.79 - 26.31}{26.31} \times 100\% = 1.81\%$$

#### 4.6.1. Prueba de reducción de humedad a 30 °C

**Tabla N° 55.** Pesaje de electrodos 6011 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo

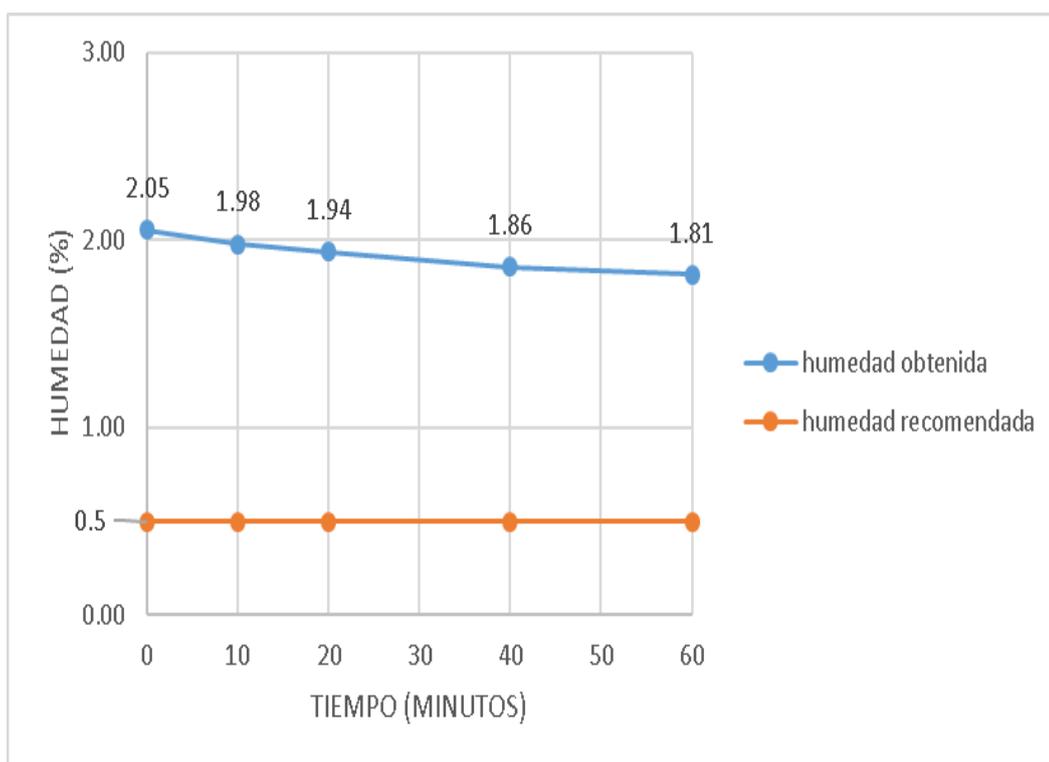
muestra	peso en gramos a la temperatura de 30 °C			
	10 min	20 min	40 min	60 min
1	26.83	26.84	26.79	26.79
2	26.81	26.82	26.78	26.79
3	26.82	26.82	26.78	26.77
4	26.82	26.81	26.80	26.78
5	26.81	26.81	26.81	26.76
6	26.83	26.83	26.82	26.81
7	26.85	26.84	26.82	26.8
8	26.84	26.8	26.81	26.79
9	26.84	26.81	26.8	26.78
10	26.82	26.80	26.8	26.78
11	26.83	26.83	26.78	26.78
12	26.85	26.84	26.79	26.78
13	26.85	26.8	26.79	26.81
14	26.82	26.82	26.81	26.8
15	26.83	26.83	26.8	26.79
<b>promedio</b>	<b>26.83</b>	<b>26.82</b>	<b>26.80</b>	<b>26.79</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 56.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 30°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	2.05	26.85
10	1.98	26.83
20	1.94	26.82
40	1.86	26.80
60	1.81	26.79

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 37.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 30°C

4.6.2. Prueba de reducción de humedad a 40 °C

**Tabla N° 57.** Pesaje de electrodos 6011 resecados a 40°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 40 °C			
	10 min	20 min	40 min	60 min
1	26.79	26.72	26.7	26.67
2	26.79	26.73	26.71	26.66
3	26.78	26.74	26.72	26.66
4	26.80	26.74	26.69	26.65
5	26.8	26.76	26.71	26.65
6	26.78	26.75	26.68	26.64
7	26.77	26.76	26.69	26.67
8	26.78	26.76	26.7	26.66
9	26.77	26.75	26.7	26.65
10	26.79	26.74	26.71	26.64
11	26.81	26.74	26.72	26.67
12	26.80	26.73	26.7	26.65
13	26.81	26.72	26.69	26.64
14	26.78	26.72	26.68	26.63
15	26.77	26.73	26.72	26.63
<b>promedio</b>	<b>26.79</b>	<b>26.74</b>	<b>26.70</b>	<b>26.65</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 58.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 40°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	2.05	26.85
10	1.82	26.79
20	1.63	26.74
40	1.49	26.70
60	1.30	26.65

Fuente: Elaboración propia.

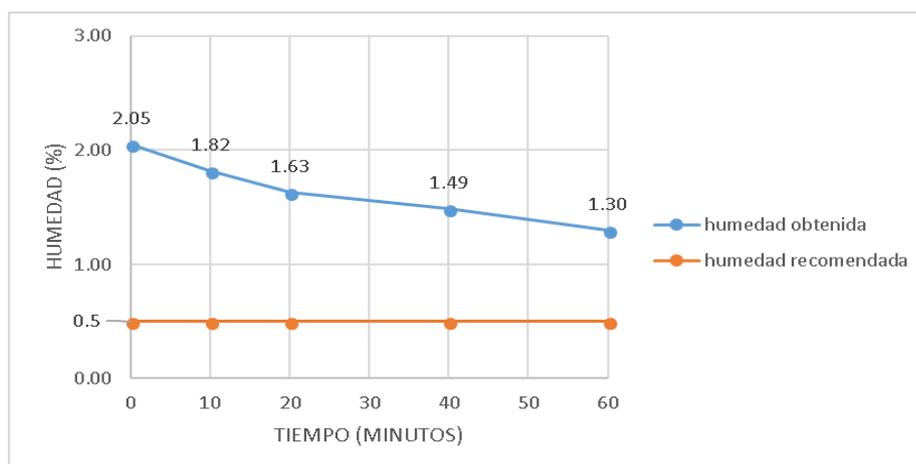


Figura N° 38. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 40°C

### 4.6.3. Prueba de reducción de humedad a 60 °C

Tabla N° 59. Pesaje de electrodos 6011 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo

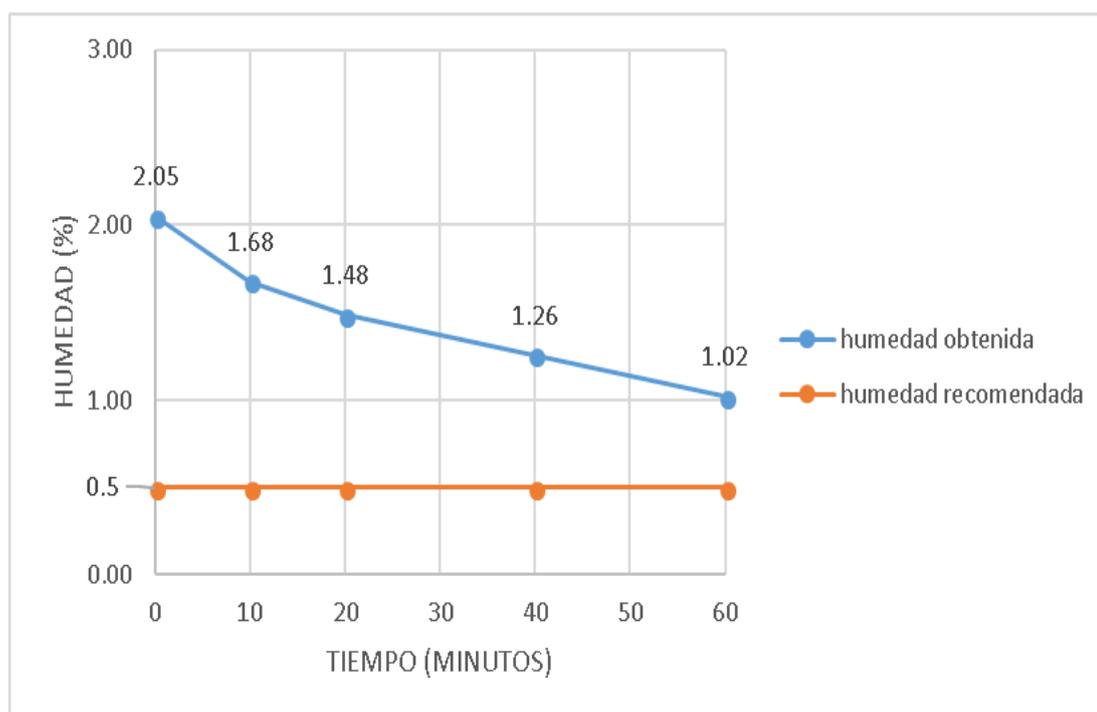
muestra	peso en gramos a la temperatura de 60 °C			
	10 min	20 min	40 min	60 min
1	26.75	26.7	26.64	26.58
2	26.77	26.68	26.65	26.58
3	26.77	26.71	26.65	26.56
4	26.76	26.71	26.63	26.57
5	26.73	26.69	26.64	26.59
6	26.75	26.7	26.63	26.6
7	26.75	26.71	26.65	26.6
8	26.77	26.69	26.66	26.57
9	26.76	26.72	26.63	26.58
10	26.74	26.68	26.62	26.58
11	26.75	26.7	26.64	26.59
12	26.76	26.7	26.64	26.57
13	26.73	26.71	26.62	26.59
14	26.74	26.72	26.66	26.56
15	26.74	26.69	26.66	26.56
<b>promedio</b>	<b>26.75</b>	<b>26.70</b>	<b>26.64</b>	<b>26.58</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 60.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 60°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	2.05	26.85
10	1.68	26.75
20	1.48	26.70
40	1.26	26.64
60	1.02	26.58

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 39.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 60°C

## 4.6.4. Prueba de reducción de humedad a 80 °C

**Tabla N° 61.** Pesaje de electrodos 6011 resecados a 80°C en distintos intervalos de tiempo

muestra	peso en gramos a la temperatura de 80 °C			
	10 min	20 min	40 min	60 min
1	26.66	26.6	26.57	26.52
2	26.64	26.61	26.56	26.49
3	26.64	26.59	26.55	26.5
4	26.65	26.59	26.53	26.52
5	26.67	26.62	26.53	26.5
6	26.68	26.61	26.55	26.49
7	26.68	26.63	26.56	26.51
8	26.67	26.6	26.57	26.52
9	26.65	26.59	26.54	26.49
10	26.64	26.62	26.55	26.5
11	26.65	26.6	26.56	26.5
12	26.66	26.63	26.57	26.51
13	26.66	26.62	26.54	26.51
14	26.67	26.61	26.55	26.48
15	26.68	26.61	26.54	26.48
<b>promedio</b>	<b>26.66</b>	<b>26.60866667</b>	<b>26.55</b>	<b>26.50</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 62.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 80°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	2.05	26.85
10	1.33	26.66
20	1.14	26.61
40	0.92	26.55
60	0.73	26.50

Fuente: Elaboración propia.

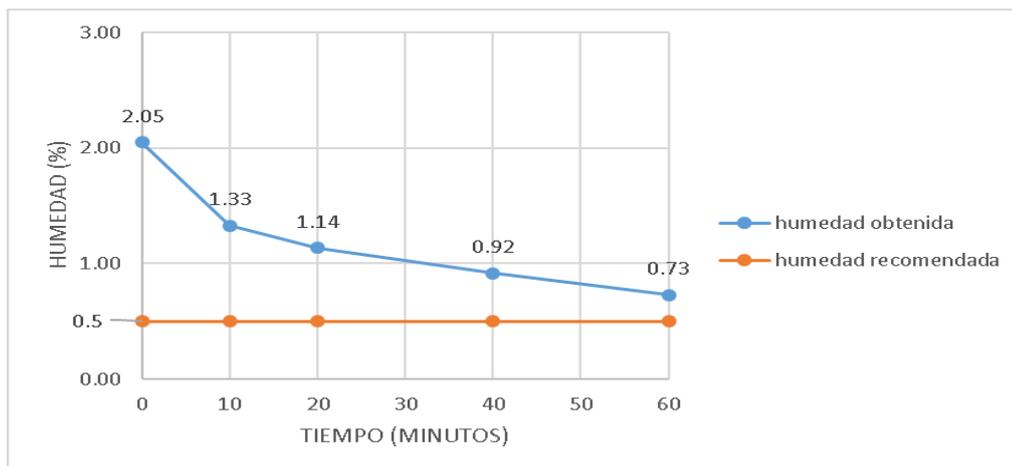


Figura N° 40. Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 80°C

#### 4.6.5. Prueba de reducción de humedad a 100 °C

Tabla N° 63. Pesaje de electrodos 6011 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

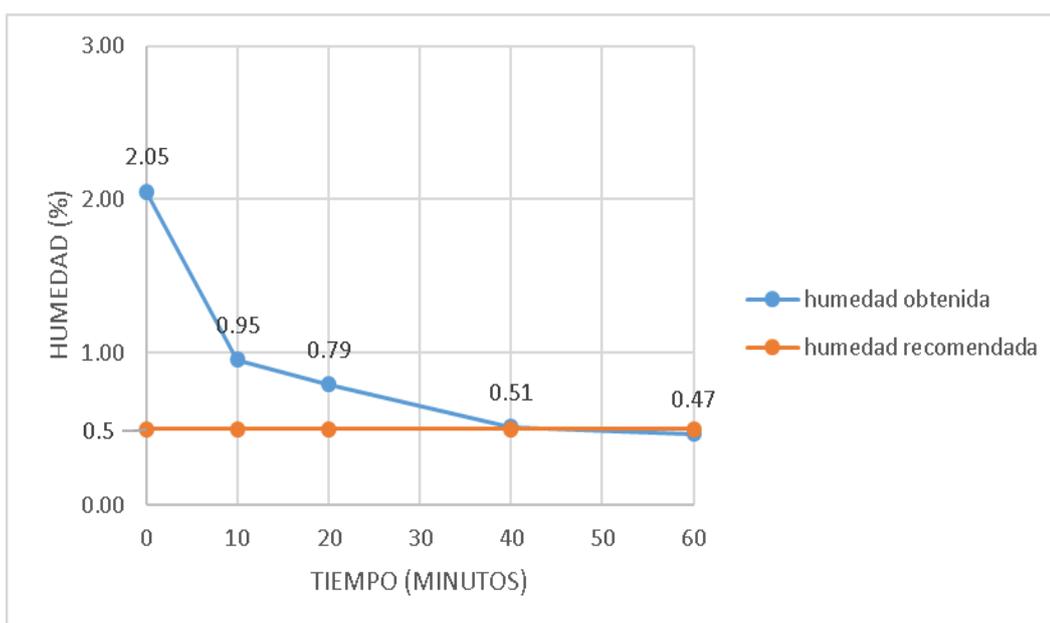
muestra	peso en gramos a la temperatura de 100 °C			
	10 min	20 min	40 min	60 min
1	26.56	26.5	26.46	26.42
2	26.55	26.52	26.44	26.43
3	26.54	26.53	26.44	26.44
4	26.55	26.5	26.43	26.43
5	26.58	26.51	26.42	26.43
6	26.56	26.52	26.44	26.44
7	26.57	26.53	26.45	26.42
8	26.58	26.51	26.46	26.42
9	26.54	26.53	26.43	26.45
10	26.54	26.54	26.46	26.42
11	26.56	26.52	26.45	26.43
12	26.57	26.5	26.46	26.44
13	26.58	26.51	26.45	26.45
14	26.57	26.54	26.44	26.45
15	26.56	26.52	26.44	26.43
<b>promedio</b>	<b>26.56</b>	<b>26.52</b>	<b>26.44</b>	<b>26.43</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 64.** Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 6011 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

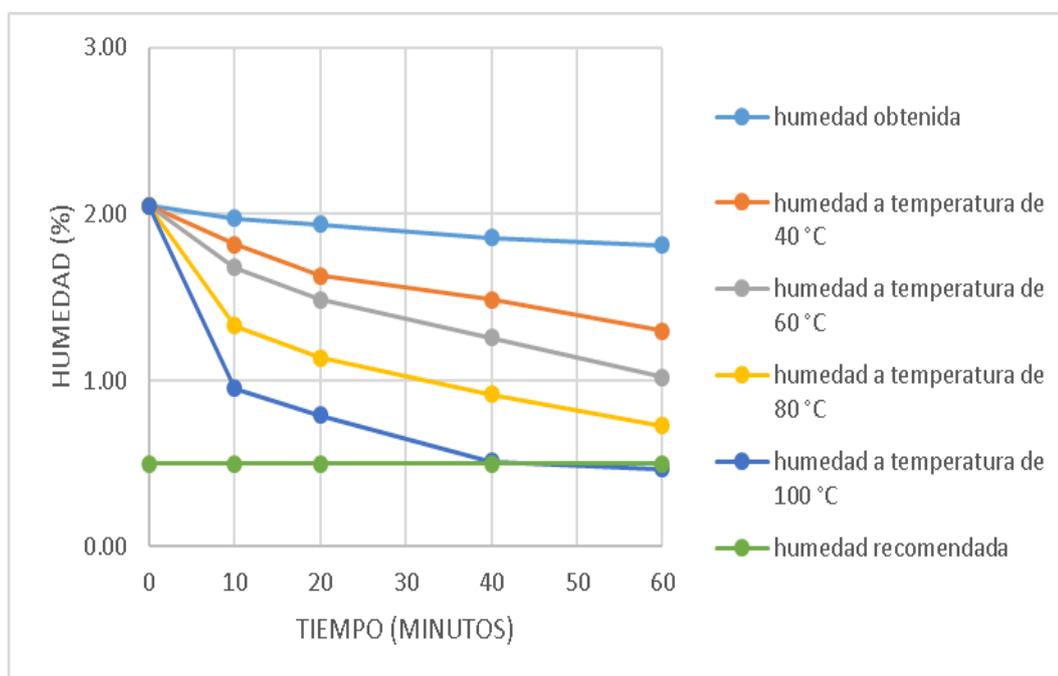
Tiempo(min)	Humedad (%)	Promedio(g)
0	2.05	26.85
10	0.95	26.56
20	0.79	26.52
40	0.51	26.44
60	0.47	26.43

Fuente: Elaboración propia.



**Figura N° 41.** Tiempo vs. Humedad de electrodos 6011 resecados a 100°C

#### 4.6.6. Análisis de resultados del electrodo Celulosico E6011 dejado a la intemperie durante 14 días



**Figura N° 42.** Tiempo vs Humedad de electrodos 6011 ressecados a varias temperaturas

En el gráfico de la Figura 42 se observa que conforme aumenta la temperatura y el tiempo de ressecado de los electrodos 6011, el porcentaje de contenido de humedad relativa disminuye y se acerca al nivel recomendado de manera tal que se puedan devolver las características operativas a electrodos que han absorbido humedad más allá de los límites.

De los resultados obtenidos se puede concluir que al minuto 40 en adelante a la temperatura de 100 °C, se logra reducir de manera considerable la humedad en el revestimiento en este tipo de electrodo, consiguiendo el objetivo planteado al minuto 40, con una humedad de 0.51 % de humedad, valor que se asemeja bastante al dado por la norma.

A los minutos 50 y 60 respectivamente a la temperatura mencionada con anterioridad se consiguió reducir el valor del mencionado anteriormente en el minuto 50, a valores de 0.49 y al minuto a 0.47 %; óptimos para soldado con este tipo de electrodo.

#### 4.7. PRUEBAS DE SOLDADURA CON ELECTRODO HUMEDO

En esta prueba se realizó la soldadura de probetas con electrodos húmedos, para luego ser sometidos a pruebas de Ensayos No Destructivos como ensayo Visual y líquidos Penetrantes con la finalidad de identificar posibles defectos producidos por estos. En el caso del ensayo de líquidos penetrantes se utilizó los líquidos de marca CANTESCO que cumple las normas AMS 2644 y cumple con ASME Sección V.



Figura N° 43. Líquidos penetrantes utilizados para pruebas de calidad

Esta prueba se realizó a una junta de penetración completa (CJP) en las probetas de 150x150x10 mm en acero A36 para luego realizar la soldadura de las probetas con el electrodo húmedo E 7018 y E6011 sometido a un recipiente durante 5 minutos.



**Figura N° 44.** Probeta soldada con electrodo E7018 (húmedo)



**Figura N° 45.** Probeta soldada con electrodo E6011 (húmedo)

En las Probetas E7018 y E6011 que se soldaron con electrodos húmedos, se puede identificar que existe escoria retenida, cráteres, mordeduras, baja soldadura, falta de Fusión y la existencia de poros, basados en la norma AWS D1.1 y según los criterios de aceptación se toma la decisión rechazar estas probetas.

#### 4.8. PRUEBAS DE SOLDADURA CON ELECTRODO DEJADO A LA INTEMPERIE



**Figura N° 46.** Probeta soldada con electrodo E7018 dejado a la intemperie



**Figura N° 47.** Probeta soldada con electrodo E6011 dejado a la intemperie

En las Probetas E7018 y E6011 (Electrodo expuesto a la intemperie por 2 semanas) en estas probetas se puede identificar los siguientes defectos cráteres, baja soldadura, falta de fusión y la existencia de mordeduras, basados en la norma AWS D1.1 según los criterios de aceptación se toma la decisión rechazar estas probetas.

#### 4.9. PRUEBAS DE SOLDADURA CON ELECTRODOS SACADO DE SU ENVASE

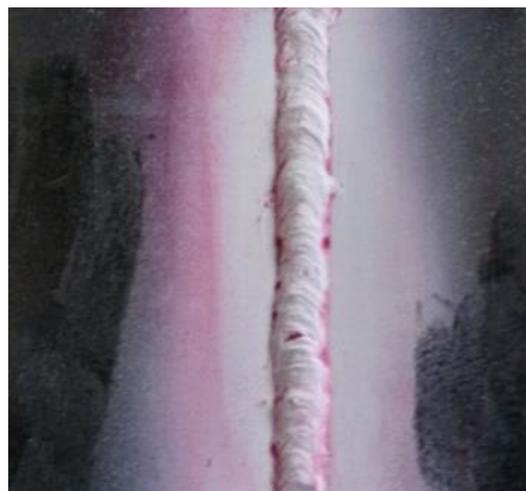
En esta prueba se va a realizar la soldadura de probetas con electrodos sacados de su envase tomando consideración las recomendaciones de la norma, para luego ser sometidos a pruebas de Ensayos No Destructivos, como

Inspección visual y líquidos penetrantes con la finalidad de identificar posibles defectos producidos por estos, utilizando siempre los líquidos de marca CANTESCO y el mismo procedimiento anteriormente detallado.

Esta prueba se lo realizará a una junta de penetración completa (CJP) en las probetas de 150x150x10 mm en acero A36 con el electrodo E 7018 y E6011.



**Figura N° 48.** Probeta soldada con electrodo E7018 sacado de su envase

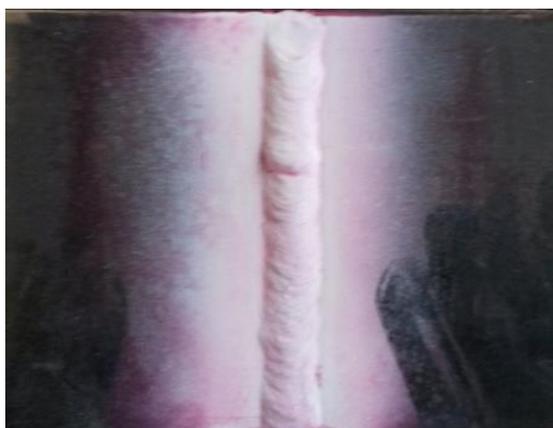


**Figura N° 49.** Probeta soldada con electrodo E6011 sacado de su envase

En las Probetas E7018 y E6011 (Electrodo que se encuentra sacado de su envase), se puede identificar que existe pequeños defectos que son insignificantes y que bajo la norma AWS D1.1 en criterios de aceptación se toma la decisión de aceptar estas probetas ya que presentan un buen aspecto y además de una buena velocidad de deposición.

#### 4.10. PRUEBAS DE SOLDADURA CON ELECTRODOS RECUPERADOS EN EL HORNO

En esta prueba se va a realizar la soldadura de probetas con electrodos recuperado y mantenidos dentro del sistema térmico tomando consideración las recomendaciones de la norma, para luego ser sometidos a pruebas de Ensayos No Destructivos (END). Como Inspección Visual y Tintas Penetrantes con la finalidad de identificar posibles defectos producidos por estos, utilizando los líquidos de marca CANTESCO y el mismo procedimiento anteriormente detallado.



**Figura N° 50.** Probeta soldada con electrodo E7018 secado durante una hora



**Figura N° 51.** Probeta soldada con electrodo E6011 secado durante una hora

En las Probetas E7018 y E6011 (Electrodo que se encuentra mantenido por el lapso de 1 hora en el horno) en estas probetas se puede identificar que no existe defectos las probetas tienen una buena presentación y las velocidades de deposición son muy buenas, basados en la norma AWS D1.1 según criterios de aceptación se toma la decisión aceptar las probetas.



**Figura N° 52.** Probeta soldada con electrodo E7018 secado durante dos horas



**Figura N° 53.** Probeta soldada con electrodo E6011 secado durante dos horas

En las Probetas E6011 y E7018 (Electrodo que se encuentra mantenido por el lapso de 1 hora y 2 hora respectivamente) en estas probetas se puede identificar que no existe defectos las probetas tienen una buena presentación y las velocidades de deposición son muy buenas, basados en la norma AWS D1.1 y según criterios de aceptación se toma la decisión de aceptar las probetas. Esta prueba se realizó a una junta de penetración completa (CJP) en las probetas de 150x150x10 mm en acero A36 para luego realizar la soldadura de las probetas con el electrodo secado durante dos horas.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA.** De los ensayos realizados se determinó que conforme se incrementa la temperatura de secado se va reduciendo de manera considerable los niveles de humedad acertando los tiempos y las temperaturas recomendados por la norma AWS 5.1-81. Definiéndose así los parámetros que se debe tener para que los cordones de soldadura no presenten defectos de penetración, inclusión de escoria y falta de fusión en los bordes.

**SEGUNDA.** De los ensayos realizados se observa que el que más humedad ha absorbido sumergido en agua es el electrodo E7018 (9.68 %), E6013 (3.63%) y E6011(3.38%) y dejado a la intemperie se tiene al electrodo E7018(5.86%), E6013(2.31%) y E6011(2.05%).En el caso de los electrodos celulósicos y rútilicos, si los mismos tienen un excesivo contenido de humedad, este se traduce en problemas operativos (salpicaduras excesivas, cortes de arco), pero en el caso de los electrodos básicos es esencial que estén secos para poder garantizar las propiedades de dichos electrodos en soldaduras de gran responsabilidad.

**TERCERA.** De los resultados obtenidos en ambos ensayos de extracción humedad, se puede deducir que en los dos casos en los tres tipos de electrodos ensayados sumergidos en agua se obtuvieron valores bastante cercanos a la norma, incluso en todos los casos en los que al electrodo se lo dejó durante el periodo de 14 días a la intemperie, se logró bajar de manera considerable el valor dado como máximo por la norma AWS A5.1-81 que es de 0.50 %. Así mismo se ha comprobado que los electrodos de bajo hidrógeno (E7018) absorben considerablemente el contenido de humedad del ambiente, por lo que al ser los

más propensos a absorber humedad conforme a la norma, se ha visto necesario que es el electrodo ideal a ser tratado en el equipo de secado en la empresa.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA.** Teniendo en consideración de que la humedad relativa en Puno oscila alrededor del 55% en el verano y entre el 36% y 40% en el invierno según la dirección de Hidrografía y navegación servicio de hidrografía Puno (2017), una vez realizadas los ensayos con los diferentes tipos de electrodos se pudo determinar que se tiene una tendencia a acertar los tiempos y las temperaturas recomendados por la norma para realizar estas pruebas de secado.

**SEGUNDA.** Durante el invierno, es posible mantener la humedad relativa en valores bajos si se mantiene la temperatura del depósito o almacén 10 °C por encima de la temperatura ambiente exterior.

**TERCERA.** Durante ciertos períodos en el verano y en climas tropicales, es necesario mantener la humedad relativa baja mediante el uso de deshumidificadores del aire.

**CUARTA.** Es conveniente utilizar los electrodos de acuerdo a la fecha de fabricación, dando prioridad a los producidos con anterioridad.

**QUINTA.** No abrir los envases de los electrodos hasta el momento de su uso.

**SEXTA.** Ubicar los envases de electrodos separados del piso y de las paredes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia Hutte de Berlín (2012). *Manual del Ingeniero Mecánico*. Tomo II. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona.
- American Welding Society (1996). *Manual de soldadura tomo I*. 8a edición. Edo. de México: Prentice-Hall Hispano América S.A.
- Ansi/Aws (1997). *Guide for Welding Iron Casting. ANSI/AWS D11.2-89*. Miami American Welding Society.
- Ayo, C. W. (2015). *Diseño y construcción de un sistema higrotérmico automatizado e implementación del proceso estandarizado de manejo y almacenamiento de consumibles SMAW para la SB E.P.* Tesis, Universidad de las fuerzas Armadas. Sangolquí-Ecuador.
- Brito, J. P. (2014) *Reparación y automatización de un horno de almacenamiento y resecado de electrodos recubiertos monitoreado a través de un software de gerenciamiento a distancia*. Tesis, Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.
- Echeverria, R. (2003). *Líquidos penetrantes*. Universidad Nacional de Comahue, Laboratorio de Ensayos no Destructivos.
- Fernández, A. (2010). *La importancia de la inspección de soldadura en la fabricación y montaje de estructuras metálicas*. Tesis, Universidad Veracruzana.
- Gómez, C. R., Perotti, A. P., García, A., Esmerio, J. A., Gonzales, R. y Machado, I. (2011). *Diseño Mc. Lean Anderson aplicado para obtener*

*recubrimientos de electrodos aleados con carbono, cromo y titanio.*

Universidad Central Marta Abreu de Las Villas-Cuba.

Henry, P. E. (1997). *Soldadura Aplicaciones y práctica*. México, D.F.: Alfaomega

Houldcroft, P. T. (1990). *Tecnología de los procesos de soldadura*. Publicado por  
Ed. CEAC

Incropera, F. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Editorial  
Continental. México.

McCormac, N. (2006). *Análisis de Estructuras Metálicas*. ALFAOMEGA, México,  
Tercera Edición.

Muñoz, M. N. (2008). *Mejoramiento de un Sistema de Producción de Electrodos  
Revestidos Mediante el uso de un Modelo de Simulación y Técnicas de  
Control de Producción y Flujo de Materiales*. Tesis, Escuela Superior  
Politécnica del Litoral. Ecuador.

Pástor, M. (2012). *Introducción a la metalurgia de la soldadura*. Facultad de  
Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Rosero, J. E. (2012). *Estudio de conservación de electrodos revestidos para  
cumplir normas AWS en los procesos de soldadura en la empresa  
carrocerías IMCE*. Tesis, Universidad Técnica de Ambato- Ecuador.

Salán, L. (2010). *Análisis metalográfico no destructivo mediante réplicas para  
evaluar la microestructura en uniones soldadas de acero A36 – posición  
1G*". Tesis, Universidad Técnica de Ambato.

Telenchana, J. L. (2013). *Análisis de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW y su incidencia en las propiedades mecánicas*. Universidad Técnica de Ambato Ecuador.

Vergara, F. y Martínez, N. (2008), *Apuntes de Ciencia de Materiales II*. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Profesional Azcapotzalco.

Yunus, A. (2004). *Transferencia de calor*. Segunda Edición. McGRAW- HILL INTERAMERICANA Editores S.A. México D.F.

# ANEXOS

**Anexo N° 01.** Tabla de especificaciones técnicas del número de electrodos por kilogramo según AWS

<b>NÚMERO DE ELECTRODOS POR KG.</b>					
<b>DIAMETRO</b>		<b>3/32</b>	<b>1/8</b>	<b>5/32</b>	<b>3/16</b>
<b>TIPO</b>					
<b>AGA</b>	<b>AWS</b>	<b>2.5 mm</b>	<b>3.20 mm</b>	<b>4.0 mm</b>	<b>5.0 mm</b>
C 10	E 6010	65	38	24	16
C 13	E 6011	65	38	24	16
C 24		65	38	24	16
B 10	E 7018	-	29	19	13
R 10	E 6013	56	33	23	
RH 10			16	10	6
R 15	E 6013	56	33	23	
X 41	E NiCl		31	20	-
R 60	E 308L-16	49	28	19	-
R 63	E 318L-16	48	26	18	-
R 65	E309L- Mo-16	45	26	20	-
R 67	E310-16	47	26	19	-
R 91	E312-16	50	30	21	-

<b>DIAMETRO</b>		<b>1/8</b>	<b>5/32</b>	<b>3/16</b>
<b>TIPO</b>				
<b>AGA</b>	<b>AWS</b>	<b>3.20 mm</b>	<b>4.0 mm</b>	<b>5.0 mm</b>
B80	E Fe Mn-A	27	18	12
B83		28	20	14
B84		28	20	13
B-85	E Fe Cr-A1	-	14	
R-91	E312-16	30	21	

**MANTENIMIENTO Y RECUPERACIÓN****(De electrodos Revestidos)**

- 1.- Identifique el tipo de revestimiento del electrodo.
- 2.- Seleccione la temperatura (mantenimiento) o la temperatura y tiempo (recuperación) del horno.

<b>REVESTIMIENTO</b>	<b>MANTENIMIENTO (°C)</b>	<b>RECUPERACIÓN (*) (h/°C)</b>
Celulósico (C)	T.A.	1h/100°C
Rutilicos (R)	10 – 20 STA	1h/100°C
Bajo hidrógeno (B)	30 – 140 STA	2h/300-350°C(1)
Grafiticos, otros (x)	30 – 60 STA	1h/150°C (2)
Fundente (arco sumergido)	30 – 140 STA	2h/250 - 300°C

h=hora(s)

STA= Sobre Temperatura Ambiente

T.A.= Temperatura Ambiente

NORMA AWS D1.1

**Anexo N° 02.** Norma AWS D1.1

<b>Allowable Atmospheric Exposure of Low-Hydrogen Electrodes</b>		
<b>Electrode</b>	<b>Column A (hours)</b>	<b>Column B (hours)</b>
<b><u>A5.1</u></b>		
E70XX	4 max	
E70XXR	9 max	Over 4 to 10 max
E70XXHZR	9 max	
E7018M	9 max	
<b><u>A5.5</u></b>		
E70XX-X	4 max	Over 4 to 10 max
E80XX-X	2 max	Over 2 to 10 max
E90XX-X	1 max	Over 1 to 5 max
E100XX-X	½ max	Over 1/2 to 4 max
E110XX-X	½ max	Over 1/2 to 4 max

1. Columna A: Los electrodos expuestos a la atmósfera por períodos de tiempo mayores a aquellos mostrados deben ser secados nuevamente antes de su uso.
2. Columna B: Los electrodos expuestos a la atmósfera por períodos de tiempo mayores a aquellos establecidos en los ensayos deben ser secados nuevamente antes de su uso.
3. Los electrodos deben ser distribuidos y mantenidos en bandejas u otros contenedores pequeños abiertos. Los contenedores precalentados no son mandatorios.

NORMA AWS D1.1

**Anexo N° 03.** Condiciones apropiadas de almacenamiento y recuperación de electrodos revestidos

<b>CONDICIONES APROPIADAS DE ALMACENAMIENTO Y RECUPERACIÓN DE ELECTRODOS REVESTIDOS</b>			
<b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO</b>			
<b>Clasificación AWS</b>	<b>Medio Ambiente</b>	<b>Horno</b>	<b>Recuperación<sup>a</sup></b>
E6010, E6011	Temperatura Ambiente	No recomendado	No recomendado
E6012, E6013, E6020, E6022, E6027, E7014, E7024	80 ± 20° F (30 ± 10 °C) 50 % máx. humedad relativa	20 – 40 °F (10 – 20 °C) Sobre Temperatura Ambiente	1 hora / 275 ± 25° F (135 ± 15 °C)
E7015, E7016, E7018, E7028, E7048	80 ± 20° F (30 ± 10 °C) 50 % máx. humedad relativa	50 – 250° F (30 - 140°C) sobre la temperatura ambiente	2 horas / 475 ± 25 ° F (245 ± 15 °C)

Fuente: Norma AWS A5.1-81 pág. 34.

- Debido a las diferencias inherentes en el fabricante, deben consultarse los proveedores de estos electrodos para las condiciones secantes exactas
- Después de la apertura del paquete del fabricante